

Сумський державний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Нешта Анна Олександрівна

УДК 621.993

ДИСЕРТАЦІЯ

Технологія оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання

05.02.08 – технологія машинобудування

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А.О. Нешта

Науковий керівник: Криворучко Дмитро Володимирович, доктор технічних наук, доцент

Суми – 2019

АНОТАЦІЯ

Нешта А.О. Технологія оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розробленню технології оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК із застосуванням непрофільного інструмента.

Важливим чинником конкурентоспроможності виробництва є продуктивність оброблення на всіх операціях технологічного процесу. В сучасних умовах майже завжди підвищення продуктивності на операціях механічного оброблення призводить до зниження собівартості. В Україні декілька підприємств виготовляють деталі та запасні частини до бурового обладнання. Сумарний річний обсяг виготовлення деталей бурової коронки складає близько 10000 шт., що при заявлених вимогах до якості та результатуючих показниках трудомісткості відповідає середній серійності виробництва. В процесах виготовлення відповідальних деталей бурового обладнання значну трудомісткість мають операції виготовлення внутрішніх різей, які забезпечують передачу крутного моменту від приводу установки до бурової коронки в умовах підвищеного зношування та знакозмінних навантажень і часто мають спеціальний профіль. Поширеними є круглі різі з кроком 12,7 мм та висотою профілю 1,5 мм для діапазону діаметрів 28÷64 мм. Для їх оброблення використовують способи нарізання різей профільним та непрофільним різцями. Недоліками способу оброблення профільним різцем є високі витрати на різальні пластини та зменшення швидкості різання через ускладнені умови оброблення, що в сукупності негативно впливає на собівартість. Недоліком способу оброблення непрофільним різцем є необхідність реалізації багатопрохідного циклу оброблення, що суттєво знижує

продуктивність оброблення. Також негативним моментом процесу є суттєва зміна умов оброблення в процесі його реалізації, що призводить до появи вібрацій та зменшує період стійкості різальних інструментів, який стає чутливим чинником ефективності. Широке розповсюдження на виробництві верстатів з ЧПК наразі дозволяє реалізовувати нові схеми оброблення складних поверхонь за рахунок складних кінематичних рухів, що забезпечують параметри точності, проте не збільшують витрати на реалізацію. Саме пошук схем оброблення внутрішніх різей зі спеціальним профілем простим та надійним інструментом у поєднанні зі складною траєкторією, що в сукупності забезпечує можливість інтенсифікації режиму різання та забезпечує потрібну якість, є актуальною науково-практичною задачею технології машинобудування.

У роботі встановлено, що застосування способів, що відносяться до методу огинання обмежується через застосування застарілих підходів до розроблення технологічних процесів, а також вартості інструментів, що необхідні для реалізації вищевказаних способів. За рахунок застосування способів, що засновані на методі огинання при обробці різей можливо зменшити основний час при виконанні обробки за один робочий хід, а також зменшити допоміжний час за рахунок ліквідації холостих ходів, що є невід'ємною частиною при обробці різей методами копіювання.

Для виявлення резервів підвищення продуктивності при обробці внутрішніх різей розглянуто та систематизовано різі зі спеціальним профілем та специфіку їх обробки. Визначено основні проблеми при нарізуванні внутрішніх різей зі спеціальним профілем, що дозволило аргументовано запропонувати технічне рішення та технологічні підходи, що забезпечить підвищення продуктивності оброблення внутрішніх різей зі спеціальним профілем. Визначено місце нового способу серед альтернатив та сформульовані конструкторсько-технологічні обмеження, що забезпечують необхідну якість та точність.

Теоретично обґрунтований набір та зв'язок технологічних параметрів, які реалізують оброблення внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на верстатах з ЧПК, що дозволило встановити особливості зміни глибини різання, довжини різальної кромки та обмеження на геометрію різального інструменту з боку геометрії різі та технологічних рухів.

У роботі запропоновано математичну модель процесу силової взаємодії в технологічній системі при обробленні методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК, що заснована на геометричному представленні у поперечному перерізі векторної суми компонентів окремих складових результуючої радіальної сили різання для одного різального елемента, а також математичні залежності, які дозволяють визначити сумарні сили для довільної кількості елементів. Це дозволило провести комп'ютерне моделювання силової взаємодії різальних елементів із заготовкою та обґрунтувати ефективність різального інструменту з трьома різальними пластинами.

Визначені фактори, обмеження і цільова функція у теоретичному дослідженні з оптимізації режиму різання у технології оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК дозволили сформулювати і вирішити задачу для цільової функції максимуму продуктивності при обробленні круглих, метричних та дюймових різей.

Визначення номенклатури різальних пластин для застосування у конструкції непрофільного інструменту виконувалось на основі даних провідних фірм-виробників різальних пластин на основі чого запропоновано області застосування різних типів пластин для конкретних типів різей, а також здійснено рекомендації з вибору геометричних параметрів пластин для різних стадій обробки.

Запропоновано методику проектування різальних інструментів шляхом застосування стандартних різальних пластин для токарного оброблення із конкретними геометричними параметрами при обробленні методом огинання виходячи із графічної інтерпретації умови оброблення.

Розглянуто загальні методи оцінювання параметрів якості різей різьових поверхонь деталей машин та запропоновано методики оцінювання параметрів точності та шорсткості оброблених різьових поверхонь круглого та трикутного профілів.

Основні метрологічні показники застосовуваних засобів вимірювання забезпечили отримання даних з похибкою не більше 2%.

Експериментальні дослідження у роботі виконувались на основі розробленого плану повнофакторного експерименту типу 2^2 з варіюванням параметрів профілю різей для проектування та розробки непрофільного різального інструменту, параметрів його руху.

Також для можливості реалізації технології оброблення на верстаті з ЧПК виявлено залежність максимального відхилення профілю від діаметра і кроку різі, що дозволило визначити області можливого використання запропонованого способу оброблення непрофільним інструментом для конкретних типорозмірів різей. Також встановлено, що крок різі чинить більший вплив на максимальне відхилення на відміну від діаметра, який практично не впливає на останнє.

Визначена область застосування технології оброблення методом огинання непрофільним інструментом для метричної – в діапазоні кроків $p=2\div3,5$ мм та діаметрами $D=16\div64$ мм, трапецеїдальної $p=2$ мм та діаметрами $D=16\div28$ мм, дюймової – з усіма типорозмірами кроків та діаметрами $G3/8\div G3"$ та круглої – з кроком $p=12,7$ мм та діаметрами $R22\div64$ мм. Доведено, що упорна різь не може бути оброблена вищевказаним способом, а діапазон діаметрів оброблюваних різей обмежується лише конструктивними розмірами інструмента.

На базі регресійного аналізу для метричної, дюймової та круглої різі встановлені діаметр інструменту та параметри траєкторії руху непрофільного інструменту в залежності від параметрів різі. Це дозволяє виконувати розрахунки вищевказаних параметрів для круглих, дюймових та метричних різей знаючи лише їх діаметр і крок.

На основі результатів модального аналізу встановлено, що частоти власних коливань не співпадають із частотами процесу різання, отже резонанс під час оброблення не виникне, що дозволило перейти до проектування різальних інструментів для запропонованого способу. Розроблено конструкції непрофільних різальних інструментів для обробки круглої, метричної та дюймової різей із застосуванням стандартних різальних пластин, що використовуються при токарному обробленні. При цьому запропоновано методику їх вибору із урахуванням особливостей виробничого процесу, виражених системою обмежень.

Також у роботі встановлено та експериментально підтверджено, що запропоновані технологічні процеси, а також конструкції різальних інструментів для обробки круглої різі R32 та метричної різі M48x3-7H та M48x3-LN-7H дозволяють забезпечувати точність обробки згідно вимог відповідних стандартів. Визначено оптимальний режим різання для круглої різі R32 при обробці корпусів бурових коронок зі сталі 5ХНМ, а саме $V = 118$ м/хв та $s_{хв} = 250$ мм/хв та при обробці муфти з'єднувальної зі сталі 40Х – $V = 144$ м/хв та $s_{хв} = 210$ мм/хв за умови наявності на інструменті трьох різальних пластин.

Виконане комп'ютерне моделювання оброблення дюймової (G1½" ГОСТ 6357-81, клас точності В), метричної (M48x3-7H ГОСТ 16093-2004) та круглої (R32 ISO 10208) різей у програмному забезпеченні Delcam PowerMill дозволило визначити, що розміри отриманих профілів різей M48x3, G1½" та R32 перебувають у межах допуску на їх виготовлення згідно відповідних стандартів, тобто точність забезпечується.

Застосування запропонованої технології оброблення внутрішніх різей дозволяє скоротити основний час обробки внутрішніх різей від 2 до 9 разів, а допоміжний – від 2 до 3 разів при обробленні із застосуванням запропонованої технології у порівнянні з відомими способами.

При експериментальному обробленні круглих різей R32 в деталях з виробничої партії корпусів бурових коронок, а також муфт з'єднувальних з

метричними різьми М48х3-7Н та М48х3-LH-7Н та почерговому контролі їх зовнішнього та внутрішнього діаметрів встановлено технологічну стійкість твердосплавних пластин: 30 деталей із круглою різью R32 та 25 деталей із метричною різью М48х3, що дозволило сформулювати технологічні рекомендації.

Рекомендації оброблення внутрішніх різей трикутного профілю:

1. Застосовувати оброблення непрофільним інструментом партії деталей більше 50 шт.

2. При обробленні метричної різі М48х3 ГОСТ 16093-81 довжиною 70 мм рекомендовано використовувати непрофільний інструмент з пластинами VCMТ 110302 у кількості 3 шт.

3. Виконувати оброблення заготовок зі сталі 40Х з режимом різання: $t=1,75$ мм; $i=1$; $s_o = 0,21$ мм/об; $s_{x\phi} = 210$ мм/хв; $V = 144$ м/хв.

4. Здійснити заміну пластин на нові після оброблення 25-ї деталі.

5. Використання подач в діапазоні 0,1...0,25 мм/об та швидкостей різання 120...200 м/хв дозволяє забезпечити виготовлення різі з допуском 0,4 мм та шорсткість Ra 3,2 мкм, що задовольняє умовам креслення.

Рекомендації оброблення внутрішніх різей круглого профілю:

1. Застосовувати обробку непрофільним інструментом при партії деталей більше 50 шт.

2. При обробці круглої різі R32 згідно ISO 10208 довжиною 65 мм рекомендовано використовувати непрофільний інструмент з пластинами CCMТ 060204 у кількості 3 шт.

3. Виконувати обробку заготовок зі сталі 5ХНМ з режимом різання $t=1,5$ мм; $i=1$; $s_o = 0,2$ мм/об; $s_{x\phi} = 250$ мм/хв; $V = 118$ м/хв.

4. Здійснити заміну пластин на нові після оброблення 30-ї деталі.

5. Використання подач в діапазоні 0,15...0,25 мм/об та швидкостей різання 100...135 м/хв дозволяє забезпечити виготовлення різі R32 з допуском 0,4 мм та шорсткість у межах Ra 2,5÷3,2 мкм, що задовольняє умовам креслення.

6. Ресурс різальних пластин та режим оброблення різей у деталях із матеріалів відмінних від вказаного мають бути визначені експериментально.

Ключові слова: різь, безцентроїдне огинання, непрофільний інструмент, режим різання, технологічний процес, корпус бурової коронки, математична модель, чисельне моделювання, точність, продуктивність.

ABSTRACT

Neshta A.O. Technology of internal threads machining by the method of non-centroidal bending. – Qualification scientific work with the manuscript copyright.

The thesis for a candidate of technical science degree in speciality 05.02.08 «Engineering techniques». – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to the development of technology of support for the processing of internal variations on the basis of the method of cutting by the method of noncentriotic bending on CNC milling machines with the use of a non-profile tool.

As you know, an important element in increasing the productivity of production in general is minimization of the basic and auxiliary time rules for each of the transitions throughout the technological process. Minimization of the processing time involves eliminating the so-called "bottlenecks", that is, transitions on which time is spent several times more than on other transitions of the same operation. One of such transitions when machining parts is the cutting of internal threads. Increasing productivity is possible by reducing the number of passes, which in turn leads to the need to increase the depth of cutting. In this case, the cutting forces increase, which is often accompanied by the possible appearance of vibrations. This is especially true when cutting internal grooves with large lengths of the profile and screwdriving of the cutting surfaces. The main way of increasing productivity and reducing the cost of processing is to introduce new methods based on complex kinematic movements that can be realized on CNC machines with a method of non-centroidal bending.

The paper finds that the use of methods related to the bending method is limited by the use of outdated approaches to the development of technological processes, as well as the cost of tools necessary for the implementation of the above methods. Due to the use of methods based on the bending method in the processing of the rocks, it is possible to reduce the basic time during processing during one working step, as well as to reduce the auxiliary time due to the elimination of idle steps, which is an integral part in the processing of different methods of copying, which, when sufficiently large volumes of parts of parts becomes profitable in terms of cost of production.

The expanded classification of the varieties proposed in the dissertation allows us to visually establish the relationship between design and technological parameters in the processing of faces and to design the technological process taking into account all aspects of the manufacture of parts containing the cutting surfaces.

Also, in order to identify the reserves for improving the productivity of internal machining, the sections with a special profile and the specifics of their processing are considered and systematized. The basic problems are determined with the cutting of internal threads with a special profile, which allowed to reasonably offer a technical solution and technological approaches, which will provide an increase in the productivity of machining internal threads with a special profile.

The paper proposes a high-performance method for treating internal processes and provides the possibility of their mechanical processing by means of a non-centrifugal envelopment with a multi-lateral non-profile cutting tool on CNC milling machines, thus reducing the cost of processing by reducing the number of cutting plates. The cutting elements in these tools serve as the standard plate of rhombic profile for turning, which allows to reduce the cost of processing and reduce the range of plates in the warehouses of the company, as well as reduce the time of technological preparation of production.

For a reasoned choice of equipment for the implementation of the method, equipment for the implementation of a high-performance method on CNC milling

machines is considered, their characteristics and technological capabilities are determined, which allow processing of varieties by the proposed method.

Determination of the nomenclature of the cutting plates for use in the construction of a non-core tool was performed on the basis of the data of leading manufacturers of cutting plates on the basis of which the areas of application of different types of plates for specific types of turns were proposed, as well as recommendations were made for the choice of geometric parameters of the plates for different stages of processing.

The method of designing cutting tools is proposed with the use of standard cutting plates for turning processing with specific geometric parameters when processing with an envelopment method based on a graphical interpretation of the processing condition.

The general methods of estimating the quality parameters of the cutting surfaces of machine parts are considered, and the methods of estimating the accuracy and roughness parameters of the machined surfaces of the round and triangular profiles are proposed.

The main metrological indicators of the applied measuring instruments ensured receipt of data with an error of not more than 2%.

Experimental investigations in this work were performed on the basis of the developed plan of a full-scale experiment of type 2^2 with variation of parameters of the profile order for designing and developing a non-profile cutting tool, its parameters of motion.

Also, for the possibility of implementing a high-performance method on a CNC machine, the dependence of the maximum deviation of the profile on the diameter and step was revealed, which allowed to determine the areas of possible use of a high-performance method of processing with a non-core tool for specific dimensions of strata. It has also been found that the step of the cut has a greater effect on the maximum deviation, in contrast to the diameter, which practically does not affect the latter.

The mathematical dependences of the diameter of the non-profile tool and the diameter of the spiral trajectory of its motion, depending on the parameters of the ridge, are developed. This allows you to perform calculations of the above parameters

for circular, inch and metric variations knowing only their diameter and step. The adequacy of the model is checked by the method of least squares and its results are satisfactory, which indicates the fidelity of the working hypothesis.

Designs of non-profile cutting tools for processing circular, metric and inch turnings with the use of standard cutting plates used for turning. In this case, a method of their choice is proposed taking into account the peculiarities of the production process expressed by the system of constraints.

The maximum values of stresses and displacements of the developed designs of non-core tools were determined and it was established that the displacement of the vertices of tools that arise under the action of cutting forces does not exceed the values of the tolerances for the processing of the corresponding turns, and the stresses do not exceed the maximum allowable values for the concrete materials. It has also been established that the frequencies of their own oscillations do not coincide with the frequencies of the cutting process, so there is no resonance during the processing.

The proposed mathematical model of the one-pass method for processing the internal variations allowed to obtain the ratio of the diameter of the non-profile tool and the parameters of its trajectory motion, depending on the size of the processed cut.

The ratios of the diameter of the non-profile tool and the radius of the spiral trajectory of its motion from the size of the treated groove are determined: for metric - with a step $p = 2 \div 3,5$ mm and diameters $D = 16 \div 64$ mm, inches - with all standard steps and diameters $G3/8 \div G3$ " and round - with a step $p = 12,7$ mm.

Theoretical studies of internal machining of high-yielding methods in the CAM system and analysis of the stress-strain state of a non-core tool allowed to substantiate its efficiency and provide the necessary precision of processing. During the simulation of the proposed method of processing cuts and damage to the profile was not detected.

The application of the proposed high-performance method reduces the basic processing time of internal threads by 4 to 9 times compared to the cutting methods of copying and depending on the type and size of the sharps due to cutting the full profile of the groove in one pass.

Experimental studies have proved the possibility of compensating for the dimensional wear of the cutting plates of the non-core tool by changing the parameters

of the spiral trajectory of its motion, which increased the life of the cutting plates by 60%. The cut-off mode for the round section R32 was determined during the processing of 5 XNM steel drill bits, which allows processing of parts with a minimum cost.

Thus, the recommendations for metric and inch types of bursts allow us to formulate common guidelines for the processing of internal triangles of a triangular profile:

- in the case of treating the triangular profile (metric and inch) in the range of diameters $D = 40 \div 60$ mm and steps $p = 2 \div 3,5$ mm in details with a diameter of up to 40 mm in steel workpieces 40X GOST 4543-88 it is recommended to use nonprofile a tool with plates of type VCMT 110202 in quantity 3 pieces;

- to process the billets from steel 40X with a cutting mode $t = 1 \div 1,75$ mm; $i = 1$; $S_o = 0.2$ mm / rev; $S_z = 250$ mm / min; $V = 166$ m / min;

- in the technological process, introduce a correction in the control program to increase the diameter of the spiral trajectory to 1,76 mm on the 36th detail and increase the diameter of the spiral trajectory to 1,96 mm before processing the 48th detail;

- to replace the plates with new ones after processing the 53rd part and return the diameter of the spiral trajectory to a value of 1,5 mm;

- use feedings in the range of $0,15 \div 0,25$ mm/rev and cutting speeds of $132 \div 166$ m/min, which allows for the production of metric and inch ranges in the range of diameters $D = 40 \div 60$ mm and steps $p = 2 \div 3,5$ mm within the tolerance fields according to the relevant standards at the accuracy class of 7 and above for the metric and accuracy class B for the inch thickness and roughness of the surface of the rays within $Ra 2,5 \div 3,2$ μ m.

Key words: thread, centerless bending, non-profile tool, cutting mode, manufacturing process, bit body, mathematical model, numerical simulation, accuracy, productivity.

Список публікацій здобувача.

1. Нешта А.А. Анализ производительности обработки винтовых поверхностей / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2015. – № 2. – С. 46–49.
2. Нешта А.А. Область применения метода обработки внутренней резьбы мерным инструментом / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Вісник НТУ ХП. – 2015. – №4. – С. 145–149.
3. Нешта А.А. Особенности обработки различных типов внутренних резьб мерным инструментом / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Журнал инженерных наук. – 2016. № 2. – С. 20-24.
4. Нешта А.О. Забезпечення параметрів якості круглої внутрішньої різі при обробці високопродуктивним способом / А.О. Нешта // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. № 3 (81). – С. 10-20.
5. Патент на винахід UA №103734. Спосіб обробки круглої внутрішньої різьби / Некрасов С.С., Криворучко Д. В., Нешта А.О. МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. - № а201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. № 21.
6. Нешта А.А. Способы обработки круглой резьбы / А.А. Нешта, С.С. Некрасов, Д.В. Криворучко // Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка. – 2013. – № 4. – С. 86-88.
7. Нешта А.А. Фрезерование круглой внутренней резьбы с большим шагом / А.А. Нешта, С.С. Некрасов // Машиностроение – основа технологического развития России ТМ-2013: Сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. - Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2013. – С. 358-359.
8. Нешта А.А. Анализ методов формообразования различных типов резьб с крупным шагом // Сучасні технології в промисловому виробництві: матер. III Всеукр. міжвузівської наук.-техн. конф.: у двох частинах, 22-25 квітня 2015 р., Суми. – Суми: Сумський державний університет, 2014. – Ч.1 – С. 27.
9. Нешта А.А. Технологическое обеспечение обработки внутренних резьб мерным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 24–27 квітня 2017 р., м. Чернігів. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 166.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН В ОБЛАСТІ ОБРОБКИ РІЗЬОВИХ ПОВЕРХОНЬ	24
1.1 Різі та їх призначення	24
1.2 Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей різьових поверхонь	26
1.3 Різі зі спеціальним профілем	30
1.4 Вимоги до якості різей.....	32
1.5 Методи обробки внутрішніх різьових поверхонь	37
1.6 Проблеми при обробці внутрішніх різей.....	48
1.7 Мета та задачі дослідження	53
1.8 Структурно-логічна схема дослідження.....	54
1.9 Висновки	56
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	57
2.1 Розроблення технології оброблення внутрішніх різей	57
2.2 Передумови для оброблення внутрішніх різей на фрезерних верстатах з ЧПК методом огинання.....	60
2.3 Обладнання для реалізації способу оброблення внутрішніх різей за методом огинання	61
2.4 Різальні пластини для оброблення різей методом огинання	63
2.5 Методика застосування різальних пластин при обробленні методом огинання	65
2.6 Методика оцінювання якості оброблення різей	67
2.7 План експерименту	70
2.8 Висновки	72

РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ.....	74
3.1 Аналіз процесу силової взаємодії непрофільного різального інструмента із заготовкою.....	74
3.2 Аналіз профілю різей у поперечному перерізі.....	78
3.3 Діапазони обробки різей методом огинання	81
3.4 Визначення параметрів різального інструменту та його траєкторії від параметрів різей	86
3.5 Оптимізація режимів різання при обробленні внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК	90
3.6 Розроблення конструкції інструменту для обробки методом огинання	96
3.7 Чисельне моделювання конструкції різального інструменту	101
3.8 Висновки	103
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ РІЗЕЙ МЕТОДОМ ОГИНАННЯ	105
4.1 Практична реалізація способу оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання.....	105
4.2 Моделювання процесу оброблення внутрішніх різей методом огинання	107
4.3 Експериментальні дослідження оброблення внутрішніх різей.....	109
4.3.1 Вплив технологічних факторів на показники якості різей з круглим профілем.....	110
4.3.2 Дослідження показників якості внутрішніх різей з круглим профілем.....	113
4.3.3 Вплив технологічних факторів на показники якості різей із трикутним профілем	117
4.3.4 Дослідження показників якості внутрішніх різей з трикутним профілем.....	121
4.4 Висновки	125

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКОСТІ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ....	126
5.1 Визначення ефективної області застосування технології оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання	126
5.2 Розрахунок економічного ефекту від впровадження технології оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом.....	135
5.3 Висновки	142
ВИСНОВКИ	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	146
ДОДАТОК А	158
ДОДАТОК Б	160
ДОДАТОК В	161

ВСТУП

Актуальність теми

Важливим чинником конкурентоспроможності виробництва є продуктивність оброблення на всіх операціях технологічного процесу. В сучасних умовах майже завжди підвищення продуктивності на операціях механічного оброблення призводить до зниження собівартості. В Україні декілька підприємств виготовляють деталі та запасні частини до бурового обладнання.

Сумарний річний обсяг виготовлення деталей бурової коронки складає близько 10000 шт., що при заявлених вимогах до якості та результируючих показниках трудомісткості відповідає середній серійності виробництва. В процесах виготовлення відповідальних деталей бурового обладнання значну трудомісткість мають операції виготовлення внутрішніх різей, які забезпечують передачу крутного моменту від приводу установки до бурової коронки в умовах підвищеного зношування та знакозмінних навантажень і часто мають спеціальний профіль. Поширеними є круглі різі з кроком 12,7 мм та висотою профілю 1,5 мм для діапазону діаметрів 28÷64 мм. Для їх оброблення використовують способи нарізання різей профільним та непрофільним різцями. Недоліками способу оброблення профільним різцем є високі витрати на різальні пластини та зменшення швидкості різання через ускладнені умови оброблення, що в сукупності негативно впливає на собівартість. Недоліком способу оброблення непрофільним різцем є необхідність реалізації багатопрохідного циклу оброблення, що суттєво знижує продуктивність оброблення. Також негативним моментом процесу є суттєва зміна умов оброблення в процесі його реалізації, що призводить до появи вібрацій та зменшує період стійкості різальних інструментів, який стає чутливим чинником ефективності. Широке розповсюдження на виробництві верстатів з ЧПК наразі дозволяє реалізовувати нові схеми оброблення складних поверхонь за рахунок складних кінематичних рухів, що забезпечують

параметри точності, проте не збільшують витрати на реалізацію. Саме пошук схем оброблення внутрішніх різей зі спеціальним профілем простим та надійним інструментом у поєднанні зі складною траєкторією, що в сукупності забезпечує можливість інтенсифікації режиму різання та забезпечує потрібну якість, є актуальною науково-практичною задачею технології машинобудування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана на кафедрі технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету у рамках завдання фундаментальних держбюджетних НДР МОН України: «Підвищення вібростійкості процесів фрезерування та точіння складнопрофільних деталей із важкооброблюваних матеріалів на основі управління та оптимізації геометрії різальної частини інструментів» (ДР № 0113U0001366), «Комплексна розробка методів підвищення ефективності обробки важкооброблюваних матеріалів за рахунок удосконалення ріжучих інструментів та умов їх застосування» (ДР № 0115U000663), у яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета та задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є підвищення продуктивності оброблення внутрішніх різей спеціального профілю із застосуванням методу безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК.

Для досягнення сформульованої мети необхідно було вирішити наступні задачі дисертаційного дослідження:

- визначити технологічні можливості оброблення внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на верстатах з ЧПК, його місце серед альтернативних методів оброблення та визначити конструкторсько-технологічні обмеження його застосування за умови забезпечення необхідної якості та точності;

- дослідити особливості технологічних параметрів оброблення внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на верстатах з ЧПК та обмеження формоутворення поверхонь внутрішніх різей;

- розробити математичну модель процесу силової взаємодії в технологічній системі при обробленні методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК, яка враховує траєкторії руху інструмента та кількість різальних елементів;

- виявити області можливого з позиції забезпечення точності застосування технології оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК для метричної, дюймової, трапецеїдальної, упорної та круглої різей;

- визначити залежності діаметрів непрофільного інструмента і траєкторії його руху від параметрів різі при обробленні методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК;

- провести теоретичні дослідження з оптимізації режиму різання процесу оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК з умови максимуму продуктивності;

- в лабораторних та виробничих умовах провести комп'ютерну симуляцію та експериментальні дослідження працездатності запропонованого методу, визначити параметри стійкості інструменту та умов забезпечення точності, а також, визначити межі економічної ефективності. Довести високу продуктивність та технологічну надійність запропонованої технології та способу. Розробити рекомендації щодо його практичної реалізації.

Об'єкт дослідження – технологічний процес оброблення внутрішніх різьових поверхонь.

Предмет дослідження – технологічні параметри, показники продуктивності та якості оброблення внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК.

Методи дослідження

Результати роботи базуються на теоретичних положеннях технології машинобудування, теорії різання, теорії проектування різальних інструментів, програмуванні на верстатах з ЧПК. Аналітичні дослідження із визначення області застосування методу безцентроїдного огинання при обробленні

внутрішніх різей виконано на основі геометричного моделювання із застосуванням положень теорії взаємозамінності. Планування модельних та натурних експериментів і обробку їх результатів виконано на основі теорії багатофакторного експерименту. Визначення параметрів оброблення різей конкретного типорозміру базуються на математичній статистиці та застосуванні методу найменших квадратів. Визначення власних частот коливань різального інструмента здійснюється шляхом модального аналізу відповідно з використанням методу скінченних елементів. Реалізацію чисельних моделей виконано з використанням ліцензійного програмного забезпечення. Достовірність теоретичних розробок підтверджено результатами експериментальних досліджень, проведених у лабораторних та виробничих умовах.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі теоретично обґрунтовані технологічні параметри нового способу нарізання внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК, а комплексні теоретико-експериментальні дослідження технологічного процесу в сукупності з розробленими конструкціями різальних інструментів забезпечили підвищення продуктивності та зменшення трудомісткості механічного оброблення внутрішніх різей.

При цьому:

1) вперше розроблена математична модель процесу силової взаємодії при обробленні внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК з урахуванням траєкторії руху інструмента і кількості різальних елементів, що дозволило обґрунтувати вимоги для інструментального забезпечення та параметрів технологічного процесу оброблення з умови оброблення із заданою точністю;

2) вперше встановлені залежності діаметрів непрофільного інструменту та траєкторії його руху від параметрів різі при обробленні методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК, а також визначені

межі застосування технології оброблення внутрішніх різей спеціального профілю непрофільним інструментом;

3) вперше визначено фактори, обмеження і цільову функцію оптимізації режиму різання при обробленні внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК, що дозволило визначити оптимальні режими різання з умови максимуму продуктивності.

Практичне значення одержаних результатів

1. Визначена область застосування запропонованого способу для оброблення внутрішніх різей: метричної з кроком $p=2\div3,5$ мм та діаметрами $D=16\div64$ мм, дюймової – з усіма типорозмірами кроків та діаметрами $G3/8\div G3"$, круглої – з кроком $p=12,7$ мм та діаметрами $R22\div64$ мм.

2. Розроблена інженерна методика для визначення діаметру непрофільного інструмента та траєкторії його руху в залежності від параметрів оброблюваної різі методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК.

3. Проведені у лабораторних та виробничих умовах комп'ютерна симуляція та експериментальні дослідження працездатності запропонованого методу дозволили визначити параметри стійкості інструменту та умов забезпечення точності, а також прогнозувати величину економічної ефективності.

4. Розроблено конструкторську та технологічну документацію для виготовлення непрофільного різального інструмента, визначені параметри траєкторії та умови його руху для оброблення круглих, метричних та дюймових різей.

5. Впровадження запропонованого способу та технологічних рекомендацій на НВП «Насостехкомплект» (м. Суми) при виготовленні деталей корпусу бурової коронки з круглою різзю R32 та муфти з'єднувальної з метричною різзю M48x3 дозволило підвищити продуктивність оброблення в 9 разів та 4 рази відповідно у порівнянні із нарізанням різьбовим різцем.

Основні результати роботи впроваджено у навчальний процес підготовки студентів Сумського державного університету за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр» при підготовці курсів «Теорія різання», «Експериментальні методи дослідження технологічних процесів», а також при підготовці науково-дослідних робіт і кваліфікаційних робіт студентів.

Особистий внесок здобувача

Положення і результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. В індивідуальних публікаціях і роботах, підготовлених у співавторстві, викладені наступні наукові результати, що належать автору: виявлено області можливого застосування технології оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК, виконано обґрунтування планів і програм експериментів, розроблена математична модель процесу силової взаємодії в технологічній системі при обробленні різей методом безцентроїдного огинання. Також виконано оптимізацію режимів оброблення для внутрішніх різей, проведені аналітичні та експериментальні дослідження процесу оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК, здійснено впровадження запропонованої технології у виробничий процес. Здобувачем виконано модальний аналіз конструкцій непрофільних інструментів, розроблена конструкторська документація та виготовлені дослідні зразки інструментів.

Апробація результатів дисертації

Основні наукові положення та результати роботи доповідалися на: II–VI Всеукраїнських міжвузівських науково-технічних конференціях «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 2012–2016 рр.); XIV Всеукраїнських молодіжних науково-технічних конференціях «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука – виробництво» (м. Суми, 2014 р.); Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Прогрессивные технологии и процессы» (м. Курськ, 2014 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення

якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2017 р.); XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» (м. Одеса, 2015 р.); XVI Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї - наука – виробництво» (м. Суми, 2016 р.).

Публікації

Матеріали дисертації опубліковано у 9 наукових працях, з яких 4 статті у наукових фахових виданнях України (у т.ч. 1 стаття у виданні, що входить до наукометричних баз), 1 патент України на винахід, 3 публікації у матеріалах конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 162 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 159 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 18 таблицями та 82 рисунками. Список використаних джерел містить 123 найменування, з них 91 кирилицею та 32 латиницею.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН В ОБЛАСТІ ОБРОБКИ РІЗЬОВИХ ПОВЕРХОНЬ

1.1 Різі та їх призначення

Одним з основних завдань машинобудування на сучасному етапі, поряд із забезпеченням високого технічного рівня, є підвищення якості машин і механізмів, що в свою чергу визначає рентабельність їх експлуатації, витрати матеріальних і трудових ресурсів на випуск нових виробів, а в багатьох випадках і безпеку їх експлуатації. Надійну роботу виробу в цілому багато в чому визначає якість різьових з'єднань, які мають надзвичайно широке застосування в різних výroбах машинобудування і складають 15-20% від загальної кількості з'єднань в сучасних машинах, а в деяких галузях промисловості їх частка доходить до 70% всіх механічних з'єднань.

Різьове з'єднання – найпоширеніше роз'ємне з'єднання у výroбах машинобудівного виробництва. Такі з'єднання характеризуються універсальністю, високою надійністю, здатністю сприймати великі навантаження; вони зручні для збирання і розбирання, прості у виготовленні. Різьовими називають з'єднання, повторне складання та розбирання яких можливе без пошкодження їх складових частин, таким чином різь застосовується в техніці для роз'ємного з'єднання деталей машин і механізмів. У багатьох випадках якість виконаної різі визначає довговічність експлуатації всієї збірної конструкції.

За допомогою різей отримують нерухомі з'єднання, що забезпечують точну фіксацію відносного положення деталей, і рухомі, які призначені для перетворення обертального руху в поступальний або для створення значних осьових зусиль.

В першу чергу мова йде про різі в отворах корпусних деталей, які в процесі експлуатації вимагають періодичного збирання-розбирання. У свою чергу довговічність внутрішньої різі, яка визначає термін служби виробу,

багато в чому залежить від якості поверхневого шару сформованої різьової поверхні.

Також різьові поверхні широко застосовуються при виготовленні деталей вимірювальних інструментів в основі роботи яких лежить кінематична пара «гвинт-гайка» (мікрометри, важільні скоби) і обладнання (оптичні мікроскопи), де потрібно досягнення високої точності переміщень з мінімальними похибками. У металорізальних верстатах нараховується від 500 до 2000 деталей, що містять різь [1–4].

В основі утворення та експлуатаційних особливостей будь-якої різі лежить гвинтовий рух деякої фігури, що складається з рівномірних поступального і обертального рухів відносно прямої, що називається віссю гвинтового руху. Таким чином напрямною виступає спіраль, що утворена комбінацією поступального та обертального рухів. При цьому відношення величини поступального руху до кількості обертів фігури називається кроком різі.

Наприклад, якщо в тіло циліндричного (конічного) стержня, що рівномірно обертається навколо своєї осі, заглибити різець і надати йому рівномірного поступального руху паралельно осі і циліндра (конуса), то на поверхні останнього утворюється гвинтова канавка і гвинтовий виступ. Сукупність рівномірно розташованих гвинтових виступів і западин постійного перетину, утворених на циліндричній або конічній поверхні, називають різзю (рис. 1.1).

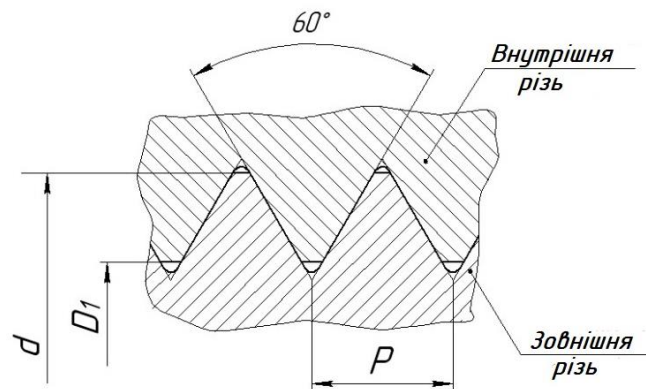


Рис. 1.1 – Загальний вигляд профілю різі

1.2 Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей різьбових поверхонь

Шляхом аналізу літературних джерел [1-12] та узагальнення інформації, яку вони містять, різі можуть бути класифіковані виходячи з конструктивних і технологічних параметрів. За конструктивним параметром різі поділяються за наступними особливостями:

- «за призначенням» різі діляться на кріпильні, призначені для нерухомого роз'ємного з'єднання, кріпильні-ущільнювальні, призначені для герметизації з'єднань, ходові (кінематичні) - для передачі руху і спеціальні. Вищевказані характеристики впливають згідно службового призначення деталей, на яких створені дані різі;

- «за напрямком гвинтової лінії» різі можуть бути правими (нитка різі спрямована за годинниковою стрілкою) і лівими (нитка різі спрямована проти годинникової стрілки);

- «за кількістю заходів» різі поділяються на однозахідні і багатозахідні. Особливістю багато західних різей є наявність кількох гвинтових поверхонь на одній поверхні деталі. Специфіка областей їх застосування описана у працях [14-19]. Як правило це ходові гвинти та шнеки, де необхідно виконати максимально швидке переміщення за один оберт деталі;

- «за розташуванням на деталі» різі можуть бути зовнішні (нарізані на стрижні), внутрішні (нарізані в отворі), торцеві (нарізані на плоскій поверхні деталей типу тіл обертання, наприклад спіраль Архімеда в токарних патронах). Торцеві різі є досить специфічними та застосовують виключно при проектуванні технологічної оснастки (токарні патрони) [20];

- «за типом твірної» на якій розташована гвинтова лінія різі можуть бути розділені на циліндричні, конічні, а також інші комплексні поверхні. До комплексних поверхонь відносять конволютні черв'яки, що широко застосовуються у редукторах із підвищеними вимогами до несучої здатності та передачі значних крутних моментів;

- «за формою профілю западини» різі розрізняють на трикутні, трапецієвидні, прямокутні, кругловидні і комбіновані.

У свою чергу трикутна різь підрозділяється на підкласи: метричну, дюймову, трубну, конічну дюймову, панцирну, замкову, а також різі іноземних стандартів типу UNF, UNS, UNV;

- трапецієвидна різь ділиться на трапецеїдальну, упорну, упорну посилену, а також різі іноземних стандартів типу ACME, STUB ASME [121-123];

- кругловидна різь ділиться на круглу згідно DIN 405 і ISO 10208 [30-31].

До комбінованих різей, наприклад, належать кругло-упорна ГОСТ 17196-77.

- «за сталістю величини кроку» різі можуть бути розділені на різі з постійним і змінним кроком. Як правило у машинобудуванні найбільш поширені різі з постійним кроком, проте у стоматологічній та нафтогазодобувній галузях промисловості широко застосовуються різі зі змінним кроком;

- «за величиною кроку» розрізняють різь із великим, дрібним кроком та, спеціальну різь. Як відомо із літературних джерел [4-10] для деяких типів різей із великим кроком величина кроку не позначається, а приймається за відповідними стандартами для конкретного діаметра. При цьому різей із малими кроками для певного діаметра може бути декілька. Спеціальна різь у даному випадку може мати один крок для певного діапазону діаметрів, а також відношення висоти профілю до величини кроку може сильно відрізнятися від існуючих різей згідно стандартів.

У процесі виконання оглядового аналізу було виявлено, що певні характеристики різей доцільно віднести до технологічних параметрів, які напряму впливають на спосіб виготовлення різей. Таким чином, за технологічними параметрами різі можуть бути поділені:

- «за довжиною згвинчування» різі згідно стандартів [28] можуть бути з короткою S, нормальною N, і великою L довжинами згвинчування. Від довжини

згвинчування залежить дуже багато факторів, що породжує різні специфіки обробки різей різної довжини. Так як на великих довжинах згвинчування особливо відчутними є похибки кроку, а також жорсткість технологічної системи технологіями застосовуються додаткові пристрої та методи обробки, що збільшують собівартість, тому при конструюванні важливо мінімізувати довжину різьових поверхонь на деталях [8-10];

- «за класом точності» різі поділяються на точні 3-5 класи, середньої точності 6-7 класи і низької точності 8-9 класи. Різі підвищеної точності вимагають застосування додаткових фінішних методів обробки, таких як різешліфування та притирання [28-30];

- «за шорсткістю поверхні» різі можуть бути з низькою шорсткістю $Ra\ 0,4\div0,8$, середньою шорсткістю $Ra\ 1,6\div3,2$ і високою шорсткістю $Ra\ 6,3$ і вище. Різ з високою шорсткістю, як правило, не потребують механічної обробки та отримуються на етапі виготовлення заготовки. Різ з низькою шорсткістю також вимагають застосування декількох стадій обробки та методів фінішної обробки, що збільшує собівартість деталей в цілому, тому такі різі застосовуються лише у відповідальних деталях;

- «за одиницями вимірювання» різі можуть бути розділені на різі метричної та дюймової системи вимірювання. Даний розподіл є важливим із точки зору виготовлення деталей, що містять різьові поверхні дюймової системи вимірювання через складність контролю даних різей та необхідністю застосування різального інструменту зі спеціальним профілем.

Також із технологічної точки зору важливим є матеріал деталі, на якій розміщена різьова поверхня. Особливо це є актуальним при обробці внутрішніх різей на деталях із важкооброблюваних матеріалів, так як у даному випадку різальний інструмент знаходиться у несприятливих умовах. До несприятливих умов належать підвищені напруження, тиски та температура на різальних кромках. Тому для нарізання різей використовують комплекти із 2-х або 3-х мітчиків, а нарізання різцями виконують із меншими глибинами та швидкостями різання у порівнянні із обробкою зовнішніх різей.

Для реалізації технології оброблення непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК профіль різі повинен відноситися до:

- 1) однозахідних внутрішніх циліндричних різей;
- 2) симетричного профілю із радіусною формою западини;
- 3) за формою профілю: трикутні, кругловідні (у т.ч. з великою довжиною профілю $p/H > 2$) та комбіновані;
- 4) середньої та низької точності.

1.3 Різі зі спеціальним профілем

Деякі конструкції бурового інструменту в гірничо-і нафтогазовидобувній галузях мають роз'ємні з'єднання різьбового типу. До таких деталей відносяться: з'єднувальні та перехідні муфти, гайки, корпуси бурових коронок, бурові штанги (рис. 1.3) [35-37]. Виходячи зі складних умов роботи, які мають на увазі наявність знакозмінних динамічних навантажень в абразивному середовищі, різі характеризуються великою довжиною профілю, відсутністю гострих кутів на витках і великим кутом підйому гвинтової лінії.



Рис. 1.3 – Деталі бурового обладнання з різьбовими поверхнями спеціального профілю

Різьові з'єднання повинні бути ефективно відрегульовані так, щоб елементи бурового інструменту були щільно з'єднані для забезпечення прямої передачі енергії. Тем не менш, вони не повинні бути занадто затягнені для забезпечення безпроблемного розгвинчування та видалення з пробурених отворів.

До таких різей відносяться R, T, C, GD-профілі [38-40], а також круглі К і кругло-упорні КУ [41] (рис. 1.4).

1) R-різь – використовується для з'єднання бурових коронок та штанг діаметрами 22÷38 мм при ударному бурінні з повітряним продувом. Крок різі 12,7 мм, великий кут підйому гвинтової лінії 70°. Аналогічними параметрами характеризується кругла різь К [42].

2) T-різь – підходить практично для усіх умов буріння та використовується в буровому інструменті діаметром 38÷51 мм. Висота профілю більше, а кут підйому гвинтової лінії менше, ніж в R-різі та складає 55°, що сприяє кращому розгвинчуванню різьбового з'єднання та підвищенню його ресурсу за рахунок зменшенню абразивного зношування;

3) ST-різь – використовується в буровому інструменті діаметром 58÷68 мм. Крок різі 7÷10 мм, менший кут підйому гвинтової лінії 45°;

4) C-різь – найчастіше зустрічається в різьбових з'єднаннях з великою довжиною згвинчування та діаметром понад 51 мм. Крок різі 10 мм, кут підйому гвинтової лінії 55°;

5) GD-різь – має проміжні характеристики між R та T-різями та асиметричний «пилоподібний» профіль, використовується в корпусах бурових коронок та штангах діаметром 25÷57 мм. Крок різі 7÷12 мм, кут підйому гвинтової лінії 65°. Аналогічними параметрами характеризується різь кругло-упорна КУ [41].

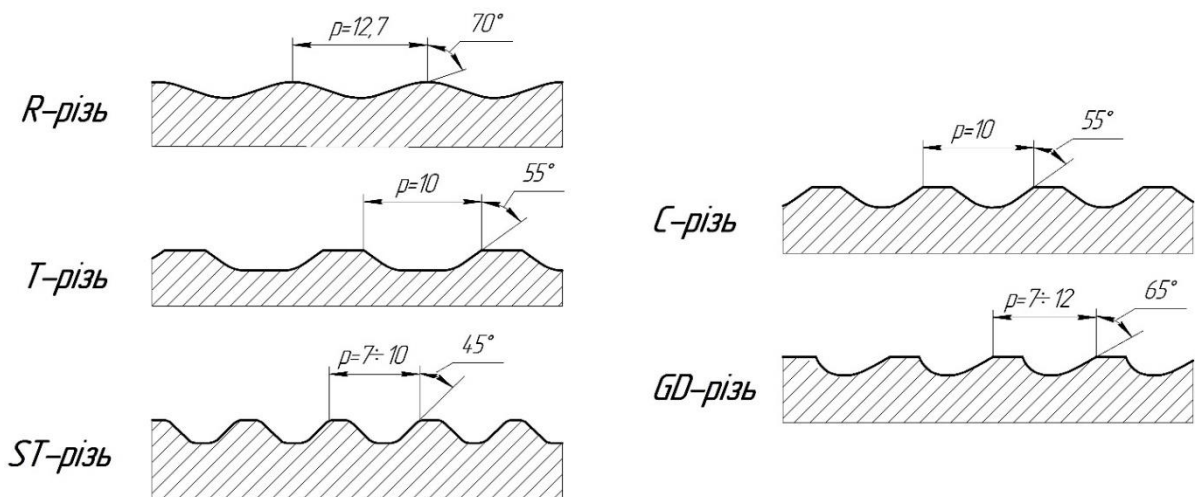


Рис. 1.4 – Спеціальні різі з великою довжиною профіля

В наслідок великої довжини профіля виникають труднощі при обробці даних типів різей в результаті виникнення вібрацій та руйнування різального інструменту. У зв'язку з цим виробники деталей для бурового обладнання змушені знижувати режими обробки, що відповідно зменшує продуктивність.

Так як обробка різей спеціального призначення здійснюється в основному наближеними способами, що передбачають методи огинання, розглянемо показники якості даних різей для забезпечення відповідності всіх параметрів профілю вимогам креслення.

1.4 Вимоги до якості різей

Різьові поверхні, також як і інші поверхні деталей машин, мають допуски і граничні відхилення на виготовлення, так як виготовити різь з номінальними розмірами в реальних умовах неможливо. Згідно зі стандартами на різні типи різей величини допусків і граничних відхилень різні, але виділимо загальні ознаки показників якості, які будуть присутні у всіх різей:

- відхилення внутрішнього діаметра - характеризується граничним значення внутрішнього діаметра різі з точки зору дотримання експлуатаційних характеристик конкретного типорозміру ділянки деталі, що має різь;

- відхилення середнього діаметра - характеризується граничним значення середнього діаметра різі з точки зору дотримання експлуатаційних характеристик і типу з'єднання деталей. У відхилення середнього діаметра входить як безпосередньо допуск на середній діаметр, так і допуск на похибку кроку і кута профілю, що може бути пояснено необхідністю досягнення певного типу з'єднання безпосередньо на середньому діаметрі;

- відхилення зовнішнього діаметра різі, верхнє з яких для внутрішніх різей не регламентується, так як допуск направлений у «тіло деталі» і передбачається, що правильний характер сполучення і експлуатаційні властивості різьового з'єднання будуть досягнуті шляхом виконання внутрішнього і середнього діаметрів в межах полів допусків на них.

- точність взаємного розташування елемента деталі, що має різь у відношенні до інших її елементів. Як правило досягається технологічно за допомогою принципів «суміщення» та «постійності» баз;

- ступінь шорсткості різьової поверхні. Дана вимога до якості регламентується службовим призначенням конкретного різьового з'єднання і умовами його експлуатації.

Допустимі відхилення для кроку і кута нахилу профілю, так само, як і допуск на середній діаметр, залежать один від одного, що враховується при контролі різей. Тому крок і кут нахилу профілю не вимагають зазвичай роздільного вимірювання, а перевіряється тільки допуск на середній діаметр, який включає допустимі відхилення кроку і кута нахилу профілю.

Сумарна величина допуску на середній діаметр розподіляється між трьома складовими, тобто:

$$T_f = f + f_1 + f_2, \quad (1.1)$$

де f – допуск на власне середній діаметр,

f_1 – частина допуску, що враховує вплив похибок кроку,

f_2 – вплив похибки кута нахилу профілю.

Для того, щоб компенсувати похибки кута і досягти згвинчуваності, середній діаметр болта повинен бути менше номінального, а середній діаметр гайки більше номінального середнього діаметра.

У загальному випадку, особливо для кріпильних різей, досить встановити допуск на середній діаметр T_f , який включає частини, що враховують похибки кроку і кута нахилу профілю.

Суттєвий вклад у вивченні кінематики процесу обробки різей та оцінювання якості різьових поверхонь внесли Якухин, Мальков, Степанов, Григорьев, Ананьев, Р. Nava, Р. Sörensen, М. Miyata, Т. Matsumura та інші зарубіжні та вітчизняні дослідники. Серед усіх розглянутих способів оцінки якості різей найбільш поширеними є:

- контроль розмірів і перевірка якості внутрішньої різі виконується різьомірами, різьовими пробками і штангенциркулем. Різьоміри служать для визначення типу різі, розміру кроку метричної різі або кількості ниток на один дюйм дюймового різі. Різьоміри – це інструменти для вимірювання зовнішньої та внутрішньої різі певного типу;

- контроль за допомогою різьових граничних калібрів-пробок, що служить для комплексної перевірки основних елементів внутрішньої різі. Вона має прохідну і непрохідну сторони (прохідна сторона має довгу різьову частину, а непрохідна – коротку). Штангенциркулем користуються для вимірювання внутрішнього діаметра різі в отворах.

Перевірка внутрішньої різі різьомірами виконується послідовним накладанням пластинок метричного або дюймового різьомірів на контрольовану різь. При цьому різь контролюється так, щоб шаблон (гребінка) був розміщений уздовж осі гайки, а зуби гребінки увійшли в западини гайки. Цю операцію виконують доти, поки профіль різьового шаблону точно співпадає з різзю гайки. Після цього за написом на шаблоні встановлюють розмір кроку для метричної різі або число ниток на дюйм для дюймової різі. Для перевірки діаметра різі штангенциркулем в отвір гайки вставляють його короткі губки, розсуваючи їх по внутрішньому діаметру до повного легкого дотику з вершинами ниток різі і фіксують положення рамки стопорним гвинтом. Закінчивши вимірювання, обережно виймають штангенцикуль з різьового отвору, а результат вимірювання визначають за ноніусом. При перевірці внутрішньої різі прохідним різьовим калібром-пробкою різьовий калібр вставляють в отвір, що містить різь і вкручують його так, щоб різьова частина на калібрі увійшла в різьовий отвір повністю. Під час загвинчування калібр повинен рухатись у контрольованому різьовому отворі вільно від руки, без особливих зусиль. Вільна посадка калібру (з люфтом) в контрольованому отворі неприпустима. При перевірці непрохідним різьовим калібром-пробкою останній не повинен загвинчуватись в отвір або допускати загвинчування його без особливого зусилля не більше ніж на 2 нитки різі.

Різь визнається придатною в тому випадку, якщо прохідний калібр-пробка загвинчується повністю, а непрохідний - загвинчується більш ніж на 2 нитки. Якість нарізування трубної різи перевіряють, згвинчуванням частини деталі, що містить різь із муфтою на всій довжині ділянки, що містить різь.

Розглянемо найбільш поширені дефекти, отримані при нарізанні різи.

«Рвана» різь може утворитися в результаті використання зношеного мітчика або плашки. Також можливе незадовільне охолодження різенарізного інструменту під час роботи або його перекіс щодо осі поверхні, на якій обробляється різь. Даний дефект може бути усунений шляхом заміни інструменту або збільшення його охолодження під час роботи, або правильної установки мітчика або плашки щодо осі оброблюваної різи.

Різь зі збільшеною довжиною плоских вершин утворюється в результаті великого діаметра отвору під різь або використання стрижня малого діаметра, а також застосування свердла з малими передніми і задніми кутами. Усунення дефекту можливо шляхом правильного підбору діаметрів свердла і різенарізного інструменту. Можлива заміна інструменту з урахуванням оброблюваного матеріалу. При отриманні неточного профілю різи необхідно звернути увагу на в'язкість матеріалу деталі (вона може бути високою), на величину переднього кута різенарізного інструменту, на правильність його заточки, на довжину забірної конуса мітчика. Також можлива невідповідність змащувально-охолоджувальної рідини оброблюваного матеріалу або занадто висока швидкість нарізування різи. Для того щоб профіль різи був точнішим, необхідні заміна інструменту, підбір охолоджуючої рідини і режимів нарізування різи відповідно до технічних умов.

Дефект збільшеного зазору різьового з'єднання з'являється в результаті неправильної установки мітчика в отвір, биття інструмента або застосування підвищеної швидкості нарізування різи. Даний дефект усувається шляхом правильної установки мітчика, ліквідації биття інструмента і правильного вибору швидкості нарізування різи.

Дефект зменшеного зазору різьового з'єднання з'являється при застосуванні інструменту, діаметр якого не відповідає заданому діаметру різі. Щоб цей дефект не виникав у подальшому, необхідно застосовувати інструменти потрібного діаметру.

Поломка мітчика може бути викликана погіршеними умовами стружковідведення під час виходу його із отвору або зниженням діаметра отвору під різь. Щоб цей дефект не повторювався, необхідно періодично виводити мітчик з отвору для видалення стружки або застосовувати свердла необхідного діаметра.

Зрізані витки різі можуть з'явитися при використанні зношеного мітчика або попаданні стружки в його канавки під час обробки. Також можливо, що діаметр просвердленого отвору під різь менше за необхідний. Для отримання якісної різі в отворах мітчик повинен бути добре заточений і при роботі ним необхідно періодично виводити його з отвору для видалення стружки, а при свердлінні отвору під різь - застосовувати свердла необхідного діаметра [46-50].

У таблиці 1.1 наведені значення параметрів шорсткості для найпоширеніших елементів різьових з'єднань.

Таблиця 1.1

Значення шорсткості елементів різьових з'єднань

Елементи деталей		Ra, мкм
Різі зовнішні	нормальної точності	6,3...1,6
	підвищеної точності	1,6...0,8
Різі внутрішні	нормальної точності	6,3...3,2
	підвищеної точності	3,2...1,6
Різі ходові	гвинт	0,8
	гайка	1,6...0,8

Згідно вимог до якості різьових поверхонь [51-53] на оброблених різях мають бути повністю відсутні такі дефекти, як: розлохмачування, прижоги і т. ін.

На якість різі і на стійкість інструменту впливає правильний вибір змащувально-охолоджувальної рідини. При нарізуванні внутрішньої різі в деталях зі сталі і латуні можна застосовувати льняне масло, з алюмінію – гас, червоної міді – скипидар. Нарізування різей у деталях з бронзи, а також з чавуну слід виконувати це без використання змащувально-охолоджувальної рідини [54].

Вищевказані показники якості різей і засоби їх досягнення в основному справедливі для трикутних і трапецеїдальних різей [55].

Для круглих різей згідно з ISO 10208 та DIN 20317 регламентованими є відхилення на внутрішній діаметр, висоту профілю і величини радіусів западин і виступів різі, а також шорсткість усієї поверхні витка.

1.5 Методи обробки внутрішніх різьових поверхонь

Залежно від типу різі (її профілю, розмірів, місця розташування та форми твірної, де розташована гвинтова лінія), характеру виробництва, вимог до її якості, застосовують різні методи та інструменти для її нарізання. При нарізуванні різі використовують такі методи [56-59]:

- копіювання, при якому профіль різальної кромки інструмента (різьового різця, мітчика, плашки, різенарізної головки, накатної плашки, абразивного круга) збігається з профілем западини або витка різі;

- центроїдного огинання, при якому лінії, звані центроїдами і пов'язані відповідно з інструментом і заготовкою, в процесі нарізування різі котяться один щодо одного без ковзання, при цьому профіль різі виходить як крива огинання різних положень різальних кромок інструменту, профіль яких відрізняється від профілю оброблюваної різі. Прикладом інструменту, що працює за цим методом, служать обкатні різці;

- безцентроїдного огинання, при якому профіль різі утворюється як лінія, що огинає різні послідовні положення різальних кромки інструменту (дискової фрези, абразивного круга і т. ін.). Але при цьому центроїди в інструменті і заготовці відсутні; а профіль витка інструменту відрізняється від профілю западини нарізаної різі.

Для нарізання різей застосовують різьові різці, мітчики, плашки, гвинторізні головки з плашками або круглими гребінками, різенарізні фрези, головки для швидкісного різьфрезерування; накатні плашки і ролики; шліфувальні круги (однориткові і багаториткові); обкатні різці.

Особливості основних методів формоутворення внутрішніх різей та прогнозування відносної продуктивності зведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Аналіз методів формоутворення внутрішніх різей

Метод формоутворення внутрішньої різі		Кількість формоутворюючих рухів	Довжина різальної кромки інструмента	Тип інструмента	Очікувана відносна продуктивність (max = 4)
Відтворення твірної лінії	Направляючої лінії				
копіювання	слід	1 $\Phi (B \Pi)_v$	відповідає профілю різі	Фасонний (профільний) різець	2
копіювання	дотик	2 $\Phi (B)_v$; $\Phi (B \Pi)_s$ або $\Phi (B \Pi)_i$.	відповідає профілю різі	Дискова/гребінчаста фасонна фреза	3
огинання	слід	2 $\Phi (B)_v$; $\Phi (B \Pi)_s$	не відповідає профілю різі (менше)	Непрофільний різець	1
огинання	дотик	2 $\Phi (B B)_v$, $\Phi (B \Pi)_s$	не відповідає профілю різі (менше)	Непрофільний різець	4

Більш докладно розглянемо найбільш поширені способи обробки різей з великим кроком за допомогою методу копіювання.

Різі з великим кроком характеризуються великою площею контакту витків сполучених деталей. Це дозволяє зменшити питому контактну величину навантаження при впливі осьових сил у різьовому з'єднанні. Статична несуча здатність різей з великим кроком більша, а вплив на міцність похибок виготовлення менше, ніж у різей із дрібним кроком. Проте при механічній обробці різанням різей з великим кроком основною проблемою є необхідність зняття з заготовки великого припуску для утворення гвинтової лінії різі. Зняття великого припуску збільшує час обробки та силу різання, яка призводить до виникнення вібрацій і, як наслідок, до погіршення якості поверхні різі.

Механічна обробка різей з великим кроком в деяких випадках вимагає наявності спеціального обладнання, що володіє достатньою потужністю і підвищеною жорсткістю. Складність отримання різей з великим кроком пов'язана з використанням спеціального профільного інструменту, який дозволяє забезпечити необхідну величину кроку.

На сьогоднішній день формування внутрішніх різей може бути виконано за допомогою різних способів і методів обробки. Серед них пластичні деформування і нарізування мітчиком, різьовою фрезою, різцем, різенарізними головки і т. д. До недавнього часу до 90% внутрішніх різей виконувалося мітчиками. Прогрес в верстатобудуванні дозволив широко впровадити у виробництво різьфрезерування, що потребує наявності трьохкоординатного верстата.

Обробка різей може здійснюватися кількома методами, які відрізняються один від одного кінематикою рухів заготовки та інструменту, що застосовуються, обладнанням і різальним інструментом.

Із аналізованих способів формоутворення різі були виділені наступні традиційні способи [60, 61]:

- 1) нарізування різей різьовими різцями;
- 2) нарізування зовнішньої різі круглими плашками;

- 3) нарізування внутрішньої різі мітчиками;
- 4) нарізування різей гребінчастими різьовими фрезами;
- 5) нарізування різей профільними дисковими фрезами;
- 6) нарізування різей самовідкриваючимися гвинторізними головками;
- 7) нарізування різей вихровими головками.

Для подальшого аналізу методів обробки різі з великим кроком представлена класифікація всіх вищевказаних методів обробки та таблиця 1.3 з короткими характеристиками кожного з методів.

За формоутворенням гвинтової лінії при методі копіювання різьові поверхні можуть бути утворені наступними взаємно-узгодженими рухами [61, 62]:

- заготовка обертається навколо своєї осі, а інструмент рухається поступально уздовж осі заготовки;
- заготовка нерухома, інструмент рухається поступально і обертається навколо своєї осі;
- заготовка обертається навколо своєї осі, а інструмент поступально рухається і обертається навколо своєї осі.

Обробка різей з великим кроком може здійснюватися:

- на універсальному обладнанні;
- на спеціальному обладнанні;
- на обладнанні з ЧПК.

Обробка різей з великим кроком може здійснюватися:

- стандартним інструментом;
- спеціальним інструментом.

Не всі способи нарізування різей, описані в таблиці, дозволяють проводити обробку різей з великим кроком через виникнення великої сили різання і вібрацій при обробці, які призводять до поломки різального інструменту (плашки, мітчики). Тому більш детально розглянемо методи, які дозволяють проводити обробку різей з великим кроком.

Таблиця 1.3

**Коротка характеристика способів формоутворення різей методом
копіювання**

МЕТОДИ	ХАРАКТЕРИСТИКА			
	точність, якість	інструмент	обладнання	тип виробництва
1. Нарізування різьовими різцями	6-й клас, Ra 1,6 мкм	стандартний, спеціальний	універсальне, обладнання з ЧПК	одиничне, дрібносерійне
2. Нарізування зовнішньої різі круглими плашками	8-й клас Ra 6,3 мкм	стандартний	універсальне	одиничне
3. Нарізування внутрішньої різі мітчиками	7-й клас Ra 3,2 мкм	стандартний	універсальне, спеціальне	одиничне, дрібносерійне
4. Нарізування гребінчастими різьовими фрезами	8-й клас Ra 6,3 мкм	стандартний	спеціальне	середньосерійне, великосерійне, масове
5. Нарізування профільними дисковими фрезами	8-й клас Ra 6,3 мкм	стандартний, спеціальний	спеціальне	середньосерійне великосерійне, масове
6. Нарізування різі самовідкриваючимися гвинторізними головками	6-й клас Ra 1,6 мкм	стандартний	спеціальне	великосерійне, масове
7. Нарізування різей вихровими головками	7-й клас Ra 3,2 мкм	стандартний, спеціальний	спеціальне	великосерійне, масове

Спосіб нарізування різьовими різцями (рис. 1.5) дозволяє обробляти внутрішні різі, як на універсальному обладнанні, так і на обладнанні із ЧПК, за допомогою різьових різців. При цьому заготовка обертається навколо своєї осі,

а інструмент рухається поступально уздовж осі заготовки. При цьому методі обробки досягається висока точність взаємного розташування осі обробленої різі з іншими циліндричними і торцевими поверхнями деталі, а різь може бути нарізана на будь-якій ділянці деталі. Все це важко досягти при інших методах обробки. Нарізування різей при точінні здійснюється простим інструментом (різцем або гребінкою). Якість отриманої різі на деталях залежить від безлічі технологічних факторів, в тому числі від схеми базування, числа проходів, способу нарізування, жорсткості технологічної системи і точності верстата. Виходячи з вищесказаного, якісну та точну різь можна отримати на верстаті з підвищеною точністю (наприклад, на верстаті із ЧПК) при числі проходів 5-12 при генераторній схемі різання [1, 63-69]. Існує кілька способів багатопрохідного точіння різей: одним однозубим різцем; послідовне багатопрохідне точіння різцями з різним профілем; багатопрохідне точіння багатозубими різцями; гребінками і однопрохідна обробка різцевими головками.

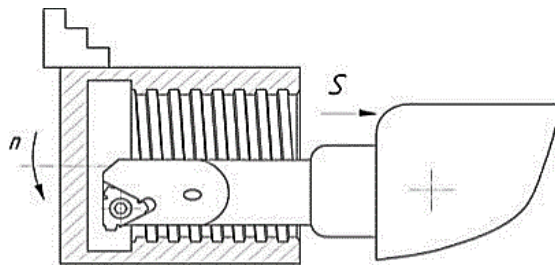


Рис. 1.5 – Обробка внутрішньої трапецеїдальної різі за допомогою різьового різця

Спосіб нарізання різьовими різцями використовується переважно в одиничному або дрібносерійному виробництві, але універсальність способу дозволяє застосовувати його і в великосерійному типі виробництва при неможливості застосування іншого більш продуктивного методу [62-65].

Істотно прискорити процес обробки різей з великим кроком у великосерійному і масовому виробництві, використовуючи метод нарізування різі різьовими різцями, стає можливим завдяки використанню сучасного

металорізального обладнання з високими швидкостями переміщення робочих органів та використанням високопродуктивного інструменту зі змінними непереточуваними пластинами. Обробка різей з великим кроком методом нарізання різьовими різцями досить трудомісткий процес, що вимагає високої кваліфікації робітника [62-65].

При цьому профіль одержуваної різі відповідає профілю різальної кромки інструменту, тому похибка виготовлення різі включає в себе похибку виготовлення і установки інструменту та кінематичну похибку позиціонування обладнання. Інструментом певного профілю можна обробляти різь будь-якого діаметру і кроку в широкому діапазоні в порівнянні з іншими способами. Але при нарізанні різей з великим кроком вершина різця видаляє метал з западини в сильно обмежених умовах, що призводить до підвищення її температури і до підвищеного зношування [70].

Тому при нарізанні різей з великим кроком припуск розподіляється рівномірно, що зменшує сили різання і покращує точність і шорсткість різі. Спосіб дозволяє обробляти одно- і багатозахідні різі з великим кроком, що не дозволяє жоден із способів.

Спосіб формоутворення різі гребінчастими різьовими фрезами (рис. 1.6) застосовується для обробки внутрішньої різей, як правило, за один прохід. При цьому заготовка обертається навколо своєї осі, а інструмент поступально рухається і обертається навколо своєї осі.

Для нарізування різей даним способом застосовується стандартний профільний інструмент – гребінчаста різьова фреза. Профіль інструменту відповідає профілю нарізуваної різі. Для нарізування різі при цьому обов'язково використовується спеціальне обладнання (різефрезерні верстати) [71].

При використанні даного способу для обробки внутрішньої різі однієї довжини і кроку може бути використаний один інструмент. Обмеження в обробці може становити розмір отвору та геометричні характеристики налагодження.

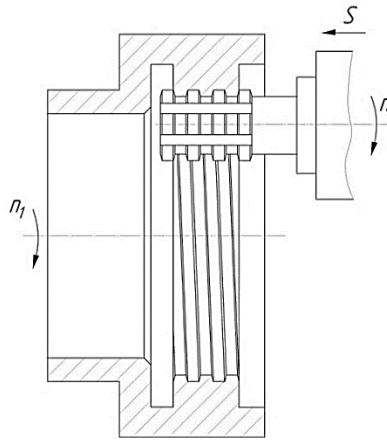


Рис. 1.6 – Обробка внутрішньої трапецеїдальної різі за допомогою гребінчастої різьової фрези

Даний спосіб застосовується в середньосерійному, великосерійному і масовому типах виробництва для обробки різей невеликої довжини.

Зі збільшенням кроку, збільшуються сили різання і вібрації, що призводить до погіршення якісних показників різьових поверхонь і до збільшення кількості проходів. Якісні показники обробки різьових поверхонь даним способом гірші, ніж у способу нарізання різі різцями.

Спосіб формоутворення різей профільними дисковими фрезами (рис. 1.7) застосовується для обробки внутрішньої різей великої довжини і кроку, як правило, за один прохід. Для нарізування різей даним способом застосовується стандартний або спеціальний профільний інструмент. Обробка проводиться на спеціальному обладнанні, а саме на різьфрезерних верстатах. Профіль інструменту відповідає профілю нарізуваної різі, але при використанні даного методу для обробки внутрішньої різей однієї довжини і кроку може бути використаний один інструмент. Також обмеження в обробці становить розмір отвору.

Спосіб дуже поширений для нарізування витків на валах-черв'яках. Під час здійснення цього способу заготовка обертається навколо своєї осі, а інструмент поступально рухається і обертається навколо своєї осі. Установка інструменту проводиться під кутом до осі заготовки, рівним куту підйому гвинтової лінії нарізуваної різі.

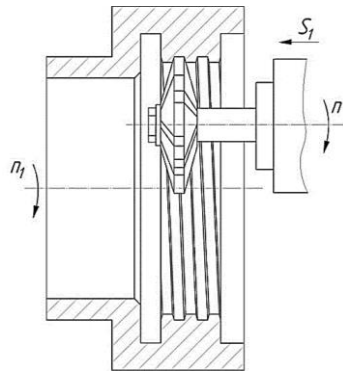


Рис. 1.7 – Обробка внутрішньої трапецеїдальної різі за допомогою профільної дискової фрези

Даний спосіб застосовується в середньосерійному, великосерійному і масовому типах виробництва [72, 73]. Якісні показники обробки різей близькі до попереднього методу.

Спосіб нарізування різей самовідкриваючимися гвинторізними головками (рис. 1.8) застосовується для обробки внутрішньої різей, як правило, за один прохід в великосерійному і масовому типах виробництва [61, 62]. Обробка даним методом проводиться на спеціальних верстатах-автоматах.

В процесі обробки заготовка повільно обертається навколо своєї осі, а інструмент поступально рухається і обертається навколо своєї осі зі швидкістю головного руху різання. В кінці процесу нарізування різі головки розходяться, що дозволяє швидко відвести різальний інструмент від деталі. При нарізуванні різей даним способом використовується профільний інструмент. Точність різі залежить від точності виготовлення різальних елементів інструменту та кінематичної точності обладнання. Обробка різей з великим кроком здійснюється за один прохід, що істотно підвищує продуктивність.

Внутрішню різь, як правило, нарізають різьбонарізними головками з призматичними гребінками. Гребінки виготовляються зі швидкорізальної сталі, що обмежує їх продуктивність в порівнянні з вихровим способом, де в основному використовуються твердосплавні різальні елементи.

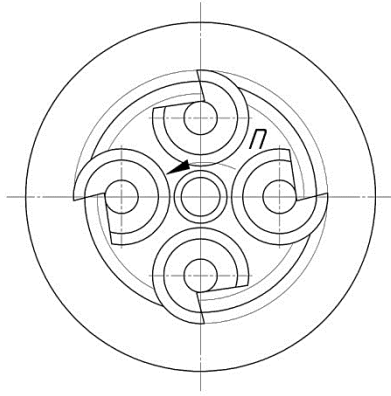


Рис. 1.8 – Обробка внутрішньої трапецеїдальної різі за допомогою гвинторізної головки

Показники якості різей, що оброблені вихровими головками, дуже високі, але через труднощі переналагодження на інший типорозмір різі, даний спосіб має низький ступінь універсальності.

Також у масовому виробництві на відміну від традиційних конструкцій різенарізних головок із гребінками зі швидкорізальної сталі, багаторізцеві головки легко можуть бути оснащені швидкозмінними непереточуваними пластинами, що мають механічне кріплення, що виготовляються із твердого сплаву. Це дозволяє значно збільшити швидкість різання і дає можливість вести обробку загартованих заготовок (до твердості HRC 50). Крім того, всі різці розташовані в головці в одному витку, що дозволяє нарізати різь з коротким сходом. У голівці може розташовуватися від 5 до 12 різців, що залежить від діаметра оброблюваної різі. Цей спосіб значно перевершує по продуктивності спосіб багатопрохідного нарізування різцем [74-76].

Метод формоутворення різі вихровими головками (рис. 1.9) характеризується високою продуктивністю, що пояснюється його застосуванням у великосерійному і масовому типах виробництва.

При нарізуванні різей даним методом використовується профільний інструмент. Точність різі залежить від точності виготовлення різальних елементів інструменту та кінематичної точності обладнання. Обробка різі з великим кроком здійснюється за один прохід, при цьому налаштуванням різців

у вихровий голівці досягається рівномірний розподіл припуску на кожен різець, що істотно знижує сили різання [61, 63-65]. При здійсненні процесу різенарізання заготовка повільно обертається навколо своєї осі, а інструмент поступально рухається і обертається навколо своєї осі зі швидкістю головного руху різання.

Метод нарізування різей вихровими головками, внаслідок малих сил різання і вібрацій, застосовується для обробки різей, що мають великий крок та розташовані у великогабаритних корпусних деталях. Обмеження складають лише внутрішні різі малого діаметра, що пояснюється конструктивними особливостями вихрових головок.

Широке застосування даного методу у великосерійному і масовому типах виробництва пояснюється складністю і трудомісткістю налагодження обладнання на інший типорозмір різі, що економічно неприпустимо в умовах дрібносерійного виробництва. Показники якості різі, обробленої вихровими головками, дуже високі, як і у методу нарізування різьовими різцями, але даний метод має низьку ступінь універсальності.

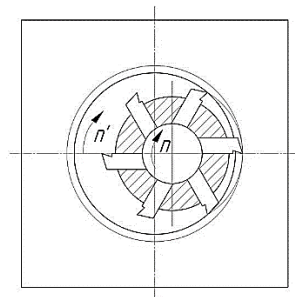


Рис. 1.9 – Обробка внутрішньої трапецеїдальної різі за допомогою вихрової головки

Усі способи, що розглянуті вище відносяться до методу копіювання та застосовуються, як правило, для обробки різей трикутного профілю. Проте через недостатню продуктивність та неможливості резервів до її збільшення, наявність інших проблем (поломки та швидке зношування інструменту), а також для обробки різей спеціального профілю активного розповсюдження набули способи, що засновані на методі огинання.

1.6 Проблеми при обробці внутрішніх різей

Для виявлення характерних проблем, що виникають при обробці способами, які відносяться до методу копіювання, а також розгляду та порівняння способів, що відносяться до методу огинання виконаємо їх порівняльний аналіз на прикладі обробки різі спеціального профілю R32 (рис. 1.10), що застосовується у корпусах бурових коронок. При цьому докладно розглянемо схему зняття припуску.

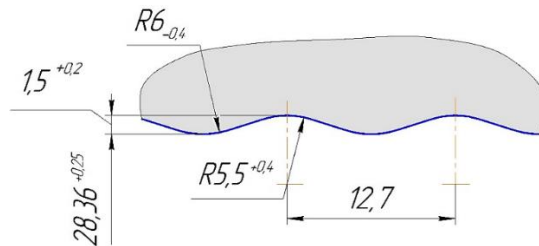


Рис. 1.10 – Параметри профілю круглої різі R32 ISO 10208

Нарізування даної різі реалізується методом копіювання з постійним зменшенням глибини різання на кожному наступному проході (рис. 1.11). Знімання припуску здійснюється за рахунок поєднання рівномірних синхронних рухів: обертання деталі і прямолінійного руху фасонного різця уздовж її осі (рис. 1.12). За один оборот заготовки різець переміщується на величину кроку нарізання різі, при цьому вривання по глибині здійснюється за кілька проходів. Для кожного конкретного профілю різі визначається оптимальна величина площі перетину зрізаного різцем шару, яка в процесі різання повинна залишатися незмінною або наближатися до неї. Це забезпечується зменшенням глибини різання зі збільшенням номера проходу. Даним способом обробляється більшість різей в машинобудуванні.

Точність профілю різі в даному способі забезпечується точністю виготовлення різальної пластини і точністю універсального обладнання, яке може бути використане в умовах одиничного виробництва для обробки круглої різі. Різні варіації способу також поширені в наступних наукових працях і винаходах [78-80]. Загальним недоліком вищерозглянутих способів є підвищені

вібрації внаслідок великої довжини контакту різальної кромки і деталі, і як наслідок, погіршення якості поверхні та зменшення продуктивності процесу обробки.

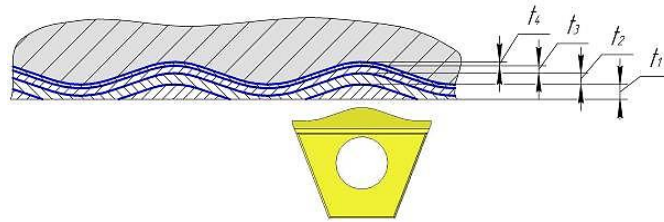


Рис. 1.1 – Схема зрізання припуску при точінні фасонним різцем із застосуванням стандартного багатопрохідного циклу різенарізання

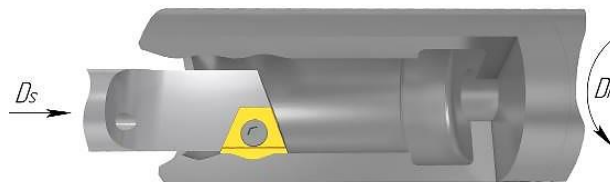


Рис. 1.12 – Модель точіння фасонним різцем із застосуванням стандартного багатопрохідного циклу різенарізання

До недоліків даного методу також можна віднести необхідність використання спеціалізованих вартісних різальних пластин [81] для кожного кроку різі, що значно підвищує собівартість її обробки.

При обробці різі різцем зі стандартним профілем різальної пластини зі змінною глибиною різання (рис. 1.13) знімання припуску здійснюється за рахунок поєднання рівномірних рухів: обертання деталі, прямолінійного руху різця вздовж осі деталі і його радіального зворотно-поступального руху, синхронізованого з обертанням деталі (рис. 1.14), що може бути реалізовано на токарно-фрезерному обробному центрі Okuma LU300 V1CAM [82].

При цьому отримання необхідного профілю різі можливо здійснити за один прохід. Подача визначається не кроком різі, а нормативними значеннями для конкретної різальної пластини, матеріалу деталі, глибини профілю і необхідної шорсткості оброблюваної поверхні. Особливістю цих методів є те, що обробка здійснюється пластинами для точіння, кут профілю яких менше,

ніж кут між дотичними до радіусних поверхонь різі типу CNMG, VNMG, DNMG [83, 84].

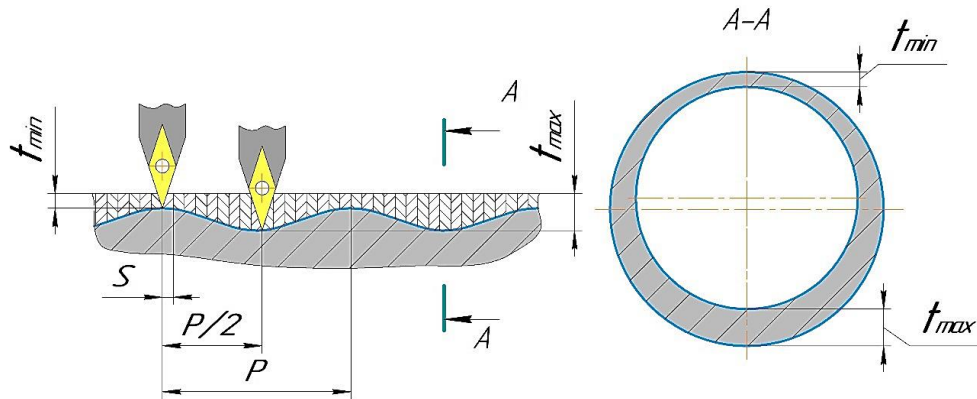


Рис. 1.13 – Схема зрізання припуску при точінні стандартним різцем зі змінною глибиною різання

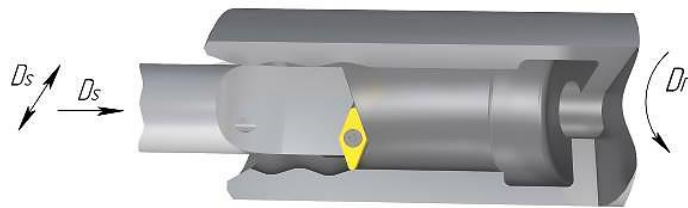


Рис. 1.14 – Модель точіння стандартним різцем зі змінною глибиною різання

Обробка за один прохід істотно підвищує продуктивність механічної обробки в порівнянні з багатопрохідним циклом нарізування різі. Перевагою способу є мала залежність точності обробки від точності виготовлення різальних пластин, так як профіль різі утворюється за рахунок правильності задання траєкторії його руху шляхом поєднання синхронності руху повороту деталі на певний кут і зміни глибини різання на необхідну величину.

Основна проблема реалізації способу полягає в синхронізації обертового руху шпинделя та зворотно-поступального переміщення різця. Також необхідна наявність верстатів з програмним керуванням з керованою С-віссю для забезпечення складної кінематики рухів, змінної глибини різання на вершинах і западинах профілю.

Для обробки круглих різей також застосовують спосіб точіння стандартним різцем з постійним зміщенням вершини різця вздовж профілю різі, де знімання припуску здійснюється за рахунок виконання різцем декількох проходів (рис. 1.15). Кінематичні рухи при цьому є поєднанням синхронного рівномірного обертального руху деталі і прямолінійного руху різця вздовж її осі (рис. 1.16).

Початок кожного нового проходу зміщене щодо попереднього, повторюючи профіль різі. Величину зміщення в радіальному і осьовому напрямку необхідно дуже точно розраховувати з урахуванням радіуса при вершині, щоб забезпечити отримання необхідного профілю різі [85-87]. Величина зміщення нового проходу щодо попереднього повинна бути достатньою для забезпечення необхідної точності і, особливо, шорсткості різьової поверхні, так як в результаті зміщення утворюються макрорельєф на поверхні профілю.

Даний спосіб може бути реалізований на універсальному обладнанні та характеризується низькими силами різання та вібраціями, що дозволяє забезпечити відносно високу стійкість інструменту підвищиться [88].

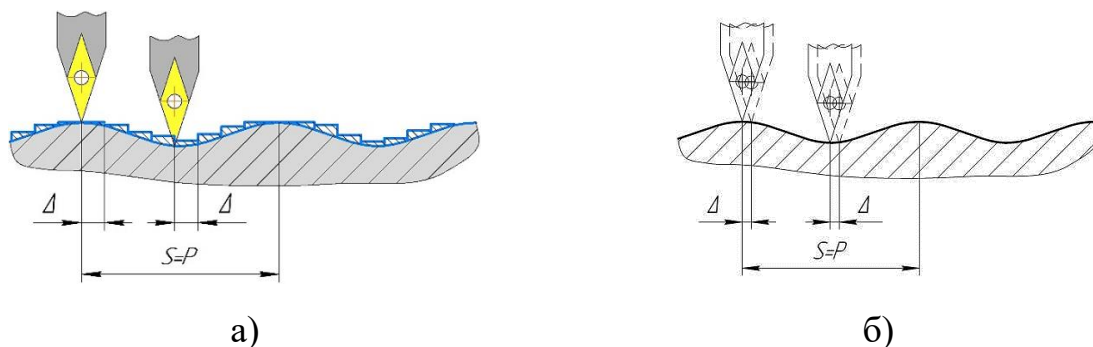


Рис. 1.15 – Схема зрізання припуску при точінні внутрішніх різей стандартним різцем: а) чорнова обробка; б) чистова обробка



Рис. 1.16 – Модель точіння стандартним різцем

Недолік даного методу полягає в тому, що точність і шорсткість профілю круглої різи залежить від величини радіальних і осьових зміщень, а також в необхідності використання обладнання із ЧПК та підвищеному зносі верстата.

На основі комплексного аналізу техніко-економічних показників існуючих способів обробки круглих різей (табл. 1.4) було встановлено, що розробки способу механічної обробки круглих різей, що відрізняється підвищеною продуктивністю у порівнянні з існуючими є актуальною науково-технічною задачею, що і обумовило хід подальшого дослідження. Умовне позначення «+» вказує на те, що дана характеристика може бути досягнута конкретним способом, а знак «-» навпаки.

Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик профілів різей дозволив їх систематизувати та виявити можливі варіанти реалізації технології оброблення непрофільним інструментом методом безцентроїдного огинання з урахуванням кінематичних можливостей фрезерних верстатів з ЧПК. Проведений аналіз дозволив обмежити типи різей, для яких можливе застосування технології оброблення непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК, повинні виконуватись чотири наступні умови:

- 1) однозахідні внутрішні циліндричні різи;
- 2) різи симетричного профілю із радіусною формою западини;
- 3) за формою профілю: трикутні, кругловидні (у т.ч. з великою довжиною профілю $p/H > 2$) та комбіновані;
- 4) середньої та низької точності.

На основі визначених критеріїв та методу оцінювання показників точності та параметрів шорсткості для різних типів різей сформульована робоча гіпотеза про перспективи методу безцентроїдного огинання у порівнянні з методом оброблення внутрішніх різей профільними різцями або різьовими фрезами, які характеризуються високою складністю інструмента і несприятливими умовами його роботи, та з методом багатопрхідного точіння непрофільним інструментом, який характеризується невисокою продуктивністю.

Таблиця 1.4

Способи обробки круглих внутрішніх різей

СПОСІБ	КРИТЕРІЙ					
	Продуктивність	Розмірна точність	Шорсткість	Економічно виправдана вартість різального інструмента	Універсальність	Простота реалізації
Нарізування різцем	-	+	+	-	+	+
Комбінований спосіб голкотокарної обробки	-	+	+	+	-	-
Обробка на токарних верстатах з ЧПК за програмою	-	+	+	-	+	-
Спосіб нарізування різі з круглим профілем	-	+	+	+	-	-
Осцилюючий спосіб обробки	+	+	+	+	-	-

1.7 Мета та задачі дослідження

Виконання літературного огляду, що базується на дослідженнях багатьох вчених у галузі обробки внутрішніх різей дозволило сформулювати мету дисертаційної роботи – підвищення продуктивності оброблення внутрішніх різей спеціального профілю із застосуванням методу безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК.

Для досягнення сформульованої мети необхідно було вирішити наступні задачі дисертаційного дослідження:

– визначити технологічні можливості оброблення внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на верстатах з ЧПК, його місце серед альтернативних методів оброблення та визначити конструкторсько-технологічні обмеження його застосування за умови забезпечення необхідної якості та точності;

- дослідити особливості технологічних параметрів оброблення внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на верстатах з ЧПК та обмеження формоутворення поверхонь внутрішніх різей;
- розробити математичну модель процесу силової взаємодії в технологічній системі при обробленні методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК, яка враховує траєкторії руху інструмента та кількість різальних елементів;
- виявити області можливого з позиції забезпечення точності застосування технології оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК для метричної, дюймової, трапецеїдальної, упорної та круглої різей;
- визначити залежності діаметрів непрофільного інструмента і траєкторії його руху від параметрів різі при обробленні методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК;
- провести теоретичні дослідження з оптимізації режиму різання процесу оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК з умови максимуму продуктивності;
- в лабораторних та виробничих умовах провести комп'ютерну симуляцію та експериментальні дослідження працездатності запропонованого методу, визначити параметри стійкості інструменту та умов забезпечення точності, а також, визначити межі економічної ефективності. Довести високу продуктивність та технологічну надійність запропонованої технології та способу. Розробити рекомендації щодо його практичної реалізації.

1.8 Структурно-логічна схема дослідження

Поставлені задачі дають можливість сформулювати структурно-логічну схему дослідження, що розділена на блоки (рис. 1.17), які зв'язані між собою причинно-наслідковим зв'язком.

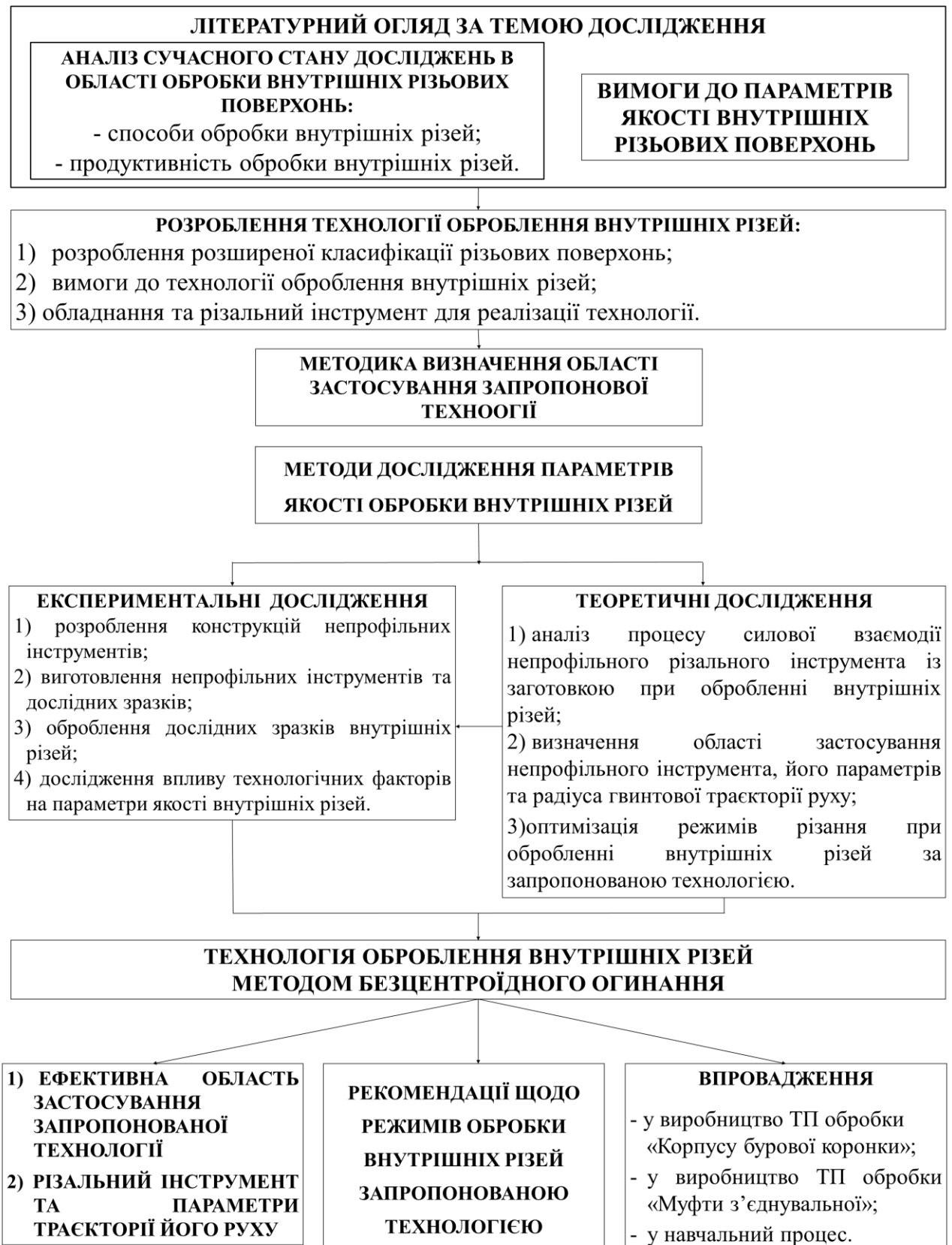


Рис. 1.17 – Структурно-логічна схема дослідження

1.9 Висновки

У даному розділі виконано аналіз та систематизацію науково-технічних джерел інформації у галузі обробки внутрішніх різей, а також методів контролю різьових поверхонь, характеристиках існуючих способів обробки та перспективних досліджень у даній області. Проте встановлено, що застосування способів, що відносяться до методу огинання обмежується через використання застарілих підходів до розроблення технологічних процесів, а також вартості інструментів, що необхідні для реалізації вищевказаних способів. За рахунок застосування способів, що засновані на методі огинання при обробці різей можливо зменшити основний час при виконанні обробки за один робочий хід, а також зменшити допоміжний час за рахунок ліквідації холостих ходів, що є невід'ємною частиною при обробці різей методами копіювання, що при достатньо великих обсягах партій деталей стає вигідним з точки зору собівартості продукції.

Розглянуто та систематизовано різі зі спеціальним профілем, специфіку їх обробки та виявлено резерви підвищення продуктивності при їх обробці. Визначено основні проблеми при нарізуванні внутрішніх різей зі спеціальним профілем, що дозволить у наступних розділах аргументовано запропонувати технічне рішення та технологічні підходи, що дозволять підвищити продуктивність обробки внутрішніх різей зі спеціальним профілем.

Також у розділі також сформовані мета, задачі, об'єкт і предмет дослідження та побудована структурно-логічна схема дослідження.

Результати досліджень даного розділу наведено в публікаціях:

1. Нешта А.А. Способы обработки круглой резьбы / А.А. Нешта, С.С. Некрасов, Д.В. Криворучко // Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка. – 2013. – № 4. – С. 86–88.

2. Нешта А.А. Способы обработки круглой резьбы / А.А. Нешта, С.С. Некрасов, Д.В. Криворучко // Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка. – 2013. – № 4. – С. 86–88.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Розроблення технології оброблення внутрішніх різей

На підставі аналізу способів обробки внутрішніх різей встановлено, що жоден спосіб не задовольняє всім критеріям в повній мірі, тому запропонований концепт способу, який повинен відповідати таким вимогам:

- підвищення продуктивності;
- забезпечення точності та якості різьової поверхні;
- зниження собівартості обробки різі;
- універсальність;
- простота конструкції різального інструменту;
- використання ресурсу різальних пластин до досягнення критичного значення фаски зношування;
- можливість обробки різьових поверхонь в глухих і наскрізних отворах.

Таким чином, запропонована технологія оброблення полягає у необхідності забезпечення всіх вищевказаних вимог або за неможливості їх забезпечення вибір оптимальних параметрів серед множини критеріїв.

Технологія оброблення реалізована шляхом безцентроїдного огинання вершинами інструмента профілю оброблюваної різі в заготовці з попередньо обробленим отвором (рис. 2.1). Початковими даними для проектування операції є параметри профілю різі, її глибина, геометричні параметри заготовки. Зазначимо, що номінальний діаметр попередньо обробленого отвору в заготовці повинен дорівнювати мінімальному значенню внутрішнього діаметра різі із запасом неменше похибки оброблення отвору в заготовці.

Для випадку оброблення круглої різі схема передбачає попередню установку і закріплення заготовки на столі верстату, зміщення осі обертання інструмента відносно осі попередньо обробленого у заготовці отвору на величину h_p , де h_p – відповідає висоті профілю різі. Схема безцентроїдного

огинання (патент України на винахід № 103734) [88] реалізується сукупністю таких узгоджених рухів (рис. 2.1): головний рух – обертання різального інструмента n_i (об/хв), рух осьової подачі інструмента s_i (мм/хв), рух кругової подачі заготовки навколо осі інструмента s_z (мм/хв), причому два останні рухи повинні бути узгодженими згідно з рівнянням – $s_i = s_z \cdot p / (2\pi \cdot h_p)$, де p – крок різі (мм).

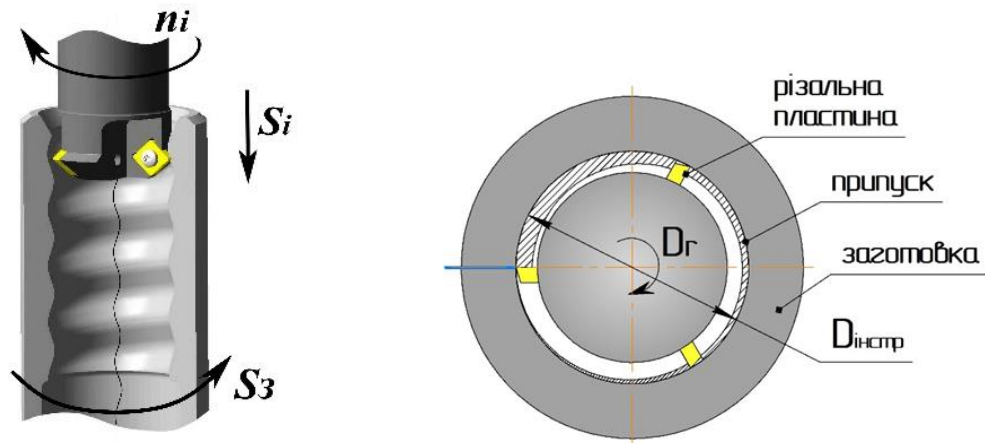


Рис. 2.1 – Схема оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом методом безцентроїдного огинання

Схема утворення мікронерівностей на різних ділянках оброблюваної поверхні показана на рис. 2.2. Збільшення кількості різальних кромок на діаметрі та збільшення частоти обертання шпинделя призводить до зменшення висоти мікронерівностей. При цьому результуюча подача на зуб s_z визначається рівнянням – $s_z = s_i / (n_i \cdot n_{re})$, де n_{re} – кількість різальних пластин з кутом при вершині ε .

Згідно даного способу параметри гвинтової траєкторії однозначно визначаються параметрами профілю різі, адже процес зняття припуску із западин профілю відбувається шляхом поступового огинання вершиною леза профілю оброблюваної різі з глибиною різання, що змінюється від мінімального значення t_{min} на вершинах профілю до максимального t_{max} у западинах різі (рис. 2.2). При цьому під час огинання також змінюється активна довжина різальної кромки, що контактує з припуском. Реалізація

запропонованої схеми можлива на фрезерних верстатах з ЧПК, що мають високу точність переміщень робочих органів, достатню жорсткість для виконання оброблення з високими частотами обертання і подачами, достатню потужність та універсальність при переналагодженні.

Таким чином вершина пластини, що характеризується параметром радіуса при вершині, тобто кола визначеного радіуса котиться без ковзання уздовж профілю, повністю огинаючи його (рис. 2.2). Цей процес можливо реалізувати за допомогою верстата з ЧПК.

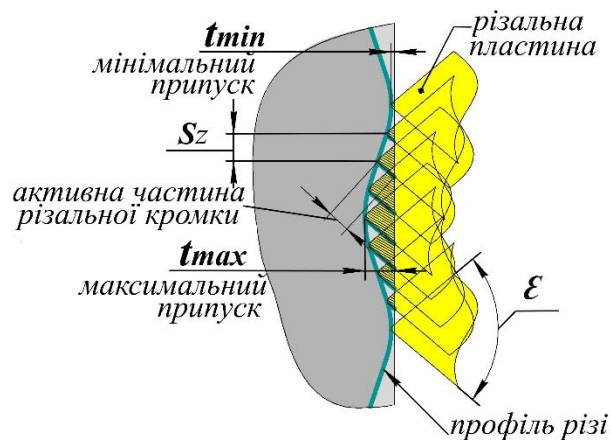


Рис. 2.2 – Схема процесу огинання профілю оброблюваної різі вершиною різального інструменту

Схеми зняття припуску здійснюються шляхом одностороннього зрізання шарів металу із западини при русі вершини різального інструменту вздовж траєкторії (рис. 2.3, 2.4). Поперечний переріз зрізу при обробці запропонованим способом характеризується параметрами товщини зрізу – a та ширини зрізу – b . При цьому шорсткість обробленої різьової поверхні визначається кроком між вершинами інструменту.

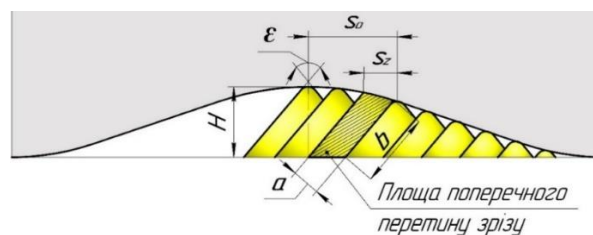


Рис. 2.3 – Схема зняття припуску при обробці круглих внутрішніх різей запропонованим способом

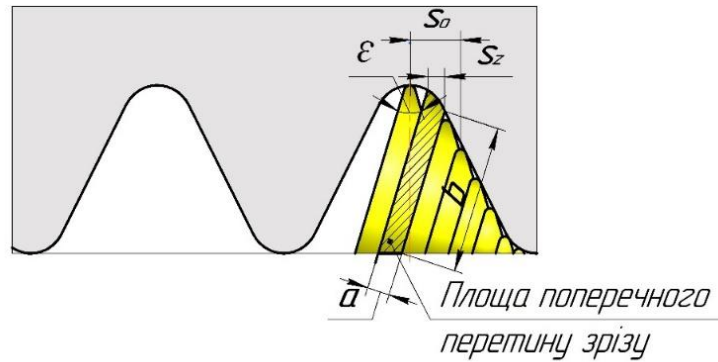


Рис. 2.4 – Схема зняття припуску при обробці внутрішніх різей трикутного профілю запропонованим способом

2.2 Передумови для оброблення внутрішніх різей на фрезерних верстатах з ЧПК методом огинання

В останнє десятиріччя особливо потужного розвитку у машинобудуванні набули верстати з ЧПК. У зв'язку з цим найбільш трудомісткі операції, що виконувались на універсальному обладнанні переведені або замінені операціями з ЧПК. Можливості верстатів фрезерної групи суттєво збільшились, що дозволило виконувати на них обробку внутрішніх різьових поверхонь осьовим інструментом (рис. 2.5). Фрезерні верстати з ЧПК дозволяють виконувати такі розповсюджені операції, як нарізування різей мітчиком при цьому не застосовуючи компенсуючий патрон, адже синхронність осьового переміщення та обертання шпинделя є взаємозалежними, тобто виконуються від різних приводів, чого не було на універсальних верстатах.

Проте можливість виконувати взаємозалежний рух інструменту відносно стола верстата за допомогою керуючої програми, що реалізує планетарний рух інструменту відносно деталі. Це дозволяє виконувати такі складні операції як різьфрезерування, що раніше можливо було виконати на спеціальних різьфрезерних верстатах, що реалізували складну кінематику та вимагали довготривалого процесу налагодження та переналагодження для обробки різі іншого типорозміру.



Рис. 2.5 – Приклад обробки внутрішньої різі на фрезерних верстатах з ЧПК

Застосування фрезерних верстатів з ЧПК дозволило суттєво підвищити продуктивність обробки різьових поверхонь у порівнянні з нарізанням різей на токарному верстаті, а також здійснювати обробку різей в корпусних деталях.

Враховуючи вищесказане та дані випуску верстатів від світових виробників верстатного обладнання (рис. 2.6) можна зробити висновок, що напрямок дослідження в області обробки внутрішніх різей на фрезерних верстатах з ЧПК буде актуальним та розвиватиметься у найближче десятиріччя.

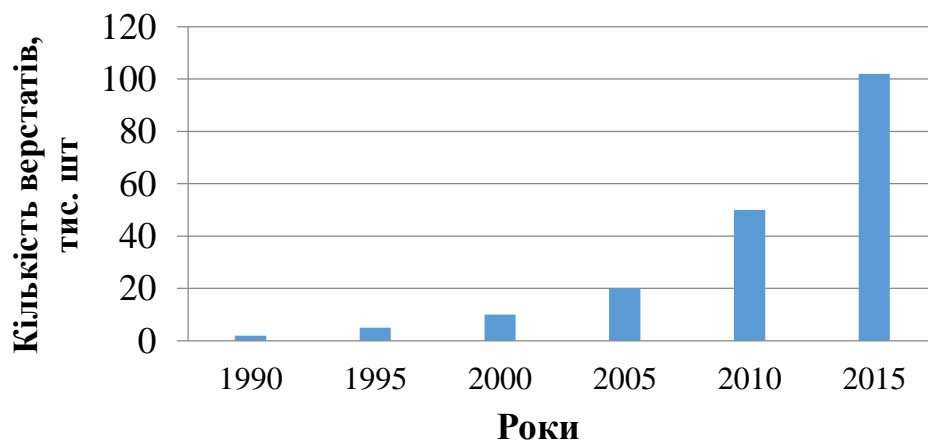


Рис. 2.6 – Дані щодо випуску фрезерних верстатів з ЧПК у світі

2.3 Обладнання для реалізації способу оброблення внутрішніх різей за методом огинання

У даний час, в умовах швидкого впровадження інноваційних технологій у машинобудуванні, використання металорізального обладнання, яке

відповідає сучасним стандартам, є невід'ємною частиною кожного машинобудівного підприємства.

Для отримання достовірної оцінки проаналізовано металорізальне обладнання всесвітньо відомих верстатобудівних компаній з Японії, Німеччини, Китаю, США, Індії, Кореї, Франції, Італії, Тайваню. Об'єктом дослідження стали обробні центри, багатоцільові верстати з ЧПК, верстати з ЧПК, а також універсальні верстати, що належать до свердлильної, фрезерної та розточувальної груп як вертикального (817 моделей), так і горизонтального компонування (258 моделей). Статистичний аналіз виконувався при розгляді обладнання за основними параметрами: робочий стіл верстата ($L \times B$), мм; робочий простір (від торця шпинделя до поверхні стола), мм; максимальна частота обертання шпинделя, об/хв; максимально допустиме навантаження на стіл (рівномірно розподілене), кг; потужність верстата, кВт; кількість осей.

Виконавши аналіз отриманих даних за основними показниками, виявили, що: близько 50% верстатів вертикального компонування мають робочий стіл шириною 250÷630 мм, довжиною до 1200 мм, а максимально допустиме навантаження на робочий стіл верстата не перевищує 1000 кг. Близько 50% верстатів горизонтального компонування мають робочі столи шириною до 800 мм та довжиною 800÷2000 мм, а 42% верстатів горизонтального компонування забезпечують максимально допустиме навантаження на робочий стіл до 2000 кг. Близько 50% верстатів мають частоту обертання шпинделя від 5000 до 10000 об/хв. 82% верстатів горизонтального компонування забезпечують частоту обертання шпинделя до 8000 об/хв. Майже у 66% проаналізованих верстатів вертикального компонування та 44% верстатів горизонтального компонування потужність головного приводу не перевищує 20 кВт.

Отримані узагальнюючі дані дозволили визначити основні тенденції розвитку у верстатобудуванні на найближчі роки, що можна представити у наступному:

- подальше вдосконалення інтеграції процесів створення та використання верстатобудівної продукції, яке забезпечується накопиченим досвідом створення баз знань і баз даних, керованих ЕОМ останнього покоління;
- використання високих швидкостей головних і допоміжних рухів при малих величинах дискретності переміщень і точності позиціонування за керованими координатами;
- підвищення потужності приводу головного руху з забезпеченням високої жорсткості, вібростійкості та термостійкості обладнання, зокрема, за рахунок вібростійкості нових матеріалів для несучих елементів верстатів і застосування віброгасників різних конструкцій;
- використання продуктивного та зносостійкого інструменту з наявністю засобів контролю та діагностики його стану.

2.4 Різальні пластини для оброблення різей методом огинання

Різальний інструмент із механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин набув широкого застосування витіснивши інструмент з напайними різальними елементами, то для непрофільного інструменту раціональним буде застосовувати саме непереточувані пластини.

Застосування непереточуваних пластин, особливо на верстатах з ЧПК, обумовлено необхідністю економії допоміжного часу на переточування, яке необхідно було б виконувати при обробці інструментом із напайними різальними елементами, адже верстати з ЧПК мають високу вартість і їх простоювання є економічно неефективним. Також після переточування необхідно витрачати час на перепрев'язку різального інструменту, чого непотрібно робити при застосуванні різального інструменту із механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин, які точно базуються у гнізді. Також використання непереточуваних пластин дозволяє багаторазово використовувати корпус інструменту, що знижує собівартість обробки деталей, особливо в умовах серійного виробництва.

Світові виробники змінних непереточуваних пластин дотримуються стандартів форми та габаритних розмірів пластин для можливості установа пластины конкретного типу будь-якого виробника у корпус інструменту без додаткових операцій по базуванню та закріпленню пластины. Це є дуже зручним з точки зору використання різальних пластин різних виробників при обробці конкретних матеріалів, саме тими пластинами, які найбільш ефективно себе зарекомендували при обробці.

У якості різальних пластин для обробки методом огинання не можуть бути використані профільні різьбові пластины через їх високу вартість, тому зупинимось більш докладно на пластинах для токарної обробки, що застосовуються у різцях.

Обробка різей у традиційному розумінні передбачає застосування на чистових проходах застосування нульових передніх кутів [1, 18]. Проте пластины із механічним кріпленням мають додатні передні кути (рис. 2.7) та нульові задні кути. При цьому для можливості здійснення процесу різання необхідно встановити у корпус різального інструменту пластину так, щоб утворився задній кут, таким чином при установці передній кут стає нульовим. Хоча при установці пластины передній кут і стає нульовим, але для отримання необхідного профілю оброблюваної різі профіль пластины скоректований аналогічно обробці фасонним різцем, де прямі ділянки на профілі отримуються частинами дуг великого радіусу [90, 91]. Через це інструмент має високу вартість.

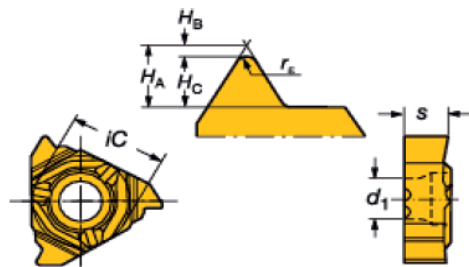


Рис. 2.7 – Різальна пластина для обробки методом копіювання

Таким чином для уникнення необхідності корекції профілю для непрофільного інструменту будемо встановлювати різальні пластини у корпус інструменту з нульовим переднім кутом, а для цього задній кут має бути утворений на пластині, а не схемою її установки, тому обираємо пластини із задніми кутами. Тому приведемо найбільш розповсюджені пластини для токарної обробки із задніми кутами (рис. 2.8).

Також для чорнової обробки різей, а також у випадках, коли потрібно виконати зрізання великого обсягу припуску, можуть бути використані пластини з нульовими задніми кутами, які установлені у корпусі із утвореним від'ємним переднім кутом. Застосування пластин із нульовим заднім кутом може бути економічно обґрунтованим при обробці великих обсягів партії при вищевказаних умовах. Таким чином необхідно залишати припуск для чистової обробки інструментом із нульовим переднім кутом.

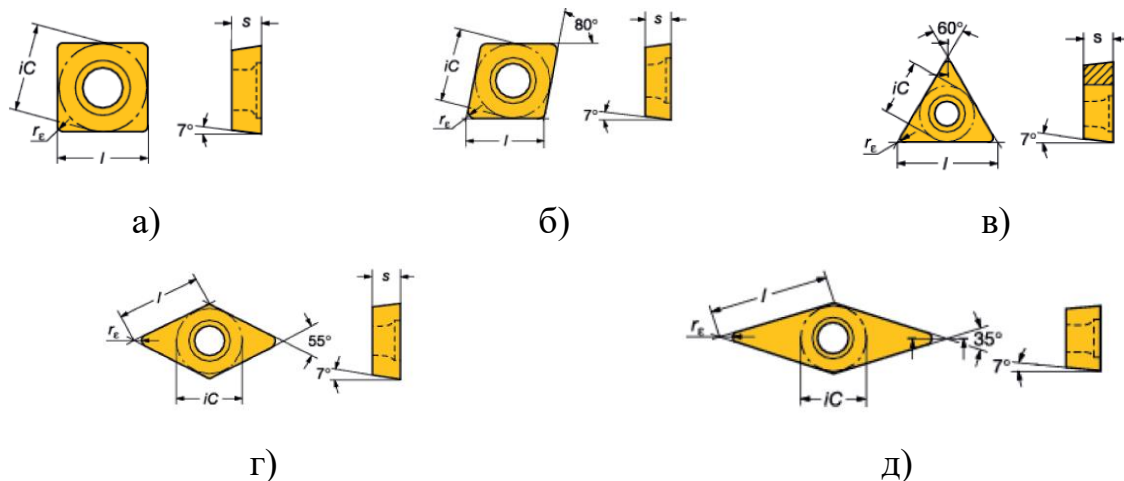


Рис. 2.8 – Різальні пластини для токарної обробки типу: а) SCMT; б) SSMT; в) TCMT; г) DCMT; д) VCMT

2.5 Методика застосування різальних пластин при обробленні методом огинання

Виходячи із розгляду можливості застосування різальних пластин для токарної обробки у конструкції непрофільного інструменту запропоновані наступні конструкції останніх (рис. 2.9). Дані конструкції мають по три різальні

пластини, що обумовлено габаритними розмірами корпусів непрофільних інструментів. Варто зазначити, що можливе збільшення кількості різальних пластин до 4 і більше із умови розміщення їх на заданому діаметрі, а також виходячи із достатньої жорсткості конструкції.

Як видно із огляду діапазон кутів при вершині різальних пластин варіюється від 35° до 90° . У свою чергу стандарти на метричні та дюймові різі передбачають кути профілю $\alpha=60^\circ$ та $\alpha=55^\circ$ відповідно, що за теоретичними засадами методу огинання непрофільним інструментом лімітує номенклатуру різальних пластин. Метод огинання передбачає можливість обробки різі тільки у тому випадку, коли кут профілю різі α більше ніж кут при вершині ε для уникнення можливості копіювання профілю різальної пластини на профіль оброблюваної різі, як відбувається при стандартних схемах обробки за методом копіювання (рис. 2.10).

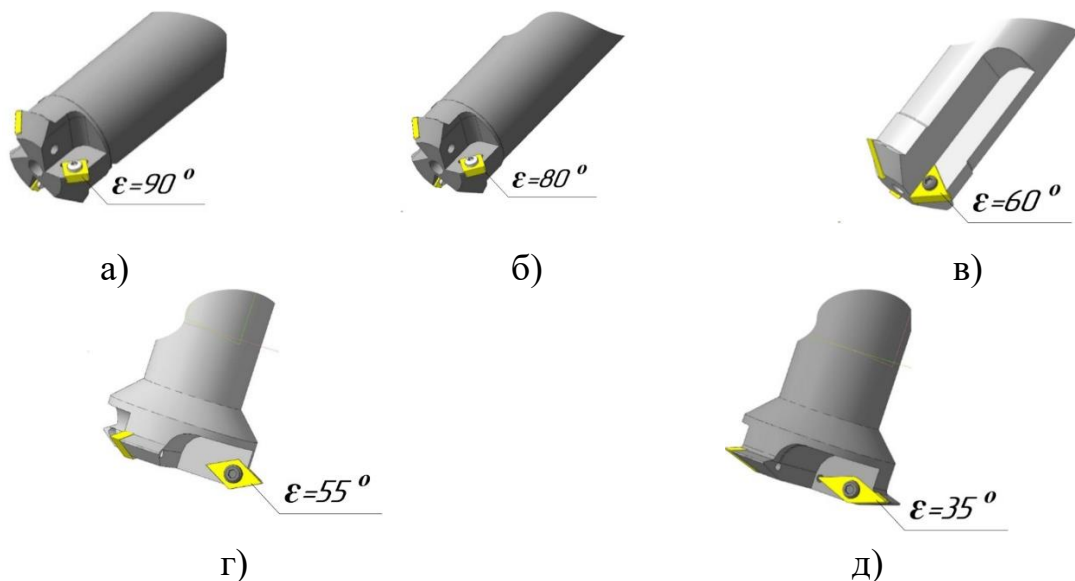


Рис. 2.9 – Різальні пластини для токарної обробки типу: а) SCMT; б) CCMT; в) TCMT; г) DCMT; д) VCMТ

Для круглої різі, де не вказаний кут профілю, необхідно визначити мінімальний кут між дотичними до дуг, що описують профіль різі (рис. 2.11). Таким чином виконавши аналіз найбільш розповсюджених різей (R22...R64) встановлено, що кути профілю вищезазначених різей знаходяться у межах $\alpha=140^\circ \dots 143^\circ$.

Виходячи із вищесказаного, для обробки круглих різей усіх типорозмірів можуть бути застосовані різальні пластини типів SCMT, CCMT, TCMT, DCMT, VCMT. Для обробки метричних різей можуть бути застосовані пластини типів DCMT та VCMT, а для обробки дюймових різей із номенклатури стандартних пластин можуть бути застосовані лише пластини типу VCMT.

Таким чином, застосовуючи дану умову обробки різей непрофільним інструментом (рис. 2.10), різальні пластини можуть бути підібрані і для інших менш розповсюджених типів різей або різей зі спеціальним профілем, що проектується з певною метою.

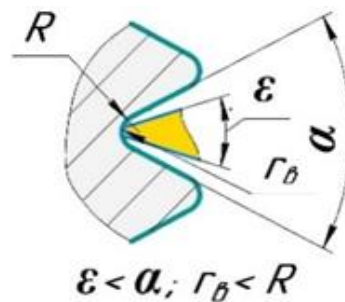


Рис. 2.10 – Умова оброблення різей непрофільним інструментом за методом огинання

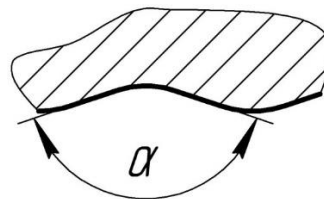


Рис. 2.11 – Визначення кута профілю круглої різі

2.6 Методика оцінювання якості оброблення різей

Як відомо, якість різей оцінюється шляхом порівняння її геометричних параметрів профілю та розмірів із значенням величин відхилень від номінального профілю згідно відповідного стандарту. Також ще одним параметром оцінювання якості обробки різей є відповідність фактичного значення шорсткості поверхні різі вимогам креслення або відповідного

стандарту. Тому по чергово розглянемо основні етапи контролю геометричних параметрів та шорсткості різей.

На першому етапі за геометричними параметрами контроль різи будемо виконувати різовими граничними калібрами (рис. 2.12).



Рис. 2.12 – Калібри для контролю різей: а) трикутного профілю; б) круглого профілю

У випадку контролю різей трикутного профілю мають місце прохідна та непрохідна частини калібру (рис. 2.12 а), а у випадку круглої різи на прикладі R32 згідно ISO 10208 контроль виконується лише прохідним калібром (рис. 2.12 б). Це обумовлено тим, що допуск на дану різь складає 0,2 мм на висоту профілю, що у переході до діаметрального представлення складає 0,4 мм на діаметр. Таке представлення допуску на висоту профілю круглої різи обумовлено специфікою її використання. Так у буровому обладнанні, де використовується даний тип різей, точність центрування та величина зазору не мають значного значення для умов її експлуатації та відповідності службовому призначенню.

Таким чином, якщо допуск на висоту профілю складає 0,4 мм у діаметральному вираженні, то внутрішній та зовнішній діаметри круглої різи також мають допуск 0,4 мм, що у порівнянні із допусками на аналогічні параметри для різей трикутного профілю у тому ж діапазоні діаметрів є досить значною величиною. Тобто резуюючи вищесказане можна зробити висновок, що для круглих різей необхідно забезпечити достатній зазор у з'єднаннях, тому

контроль зовнішніх та внутрішніх різей виконують лише прохідними калібрами.

Проте метод контролю за допомогою граничних калібрів не дозволяє виконати диференційовану оцінку по кожному із геометричних параметрів (кут профілю, зовнішній, середній та внутрішній діаметри, радіус западини і т.д.), тому для контролю вищевказаних параметрів доцільно застосовувати оптичні інструментальні мікроскопи (рис. 2.13) [92, 93-95].



Рис. 2.13 – Оптичний інструментальний мікроскоп

Оцінка шорсткості поверхні різей різних профілів може бути виконана шляхом абсолютного та відносного контролю.

До методів абсолютного контролю можуть бути віднесені: вимірювання за допомогою профілометра 283 (рис. 2.14) та профілографа, де за побудованим профілем мікронерівностей можна визначити фактичне їх значення. Також абсолютним можна вважати контроль шорсткості за допомогою фотознімків із мікроскопів із збільшувальною здатністю не менше ніж 1000 разів.

До відносних методів контролю шорсткості різьових поверхонь відноситься метод контролю за допомогою зразків шорсткості для точіння для сталі (рис. 2.15).



Рис. 2.14 – Профілометр 283



Рис. 2.15 – Зразки шорсткості

Так як контроль за зразками шорсткості є досить суб'єктивним методом контролю і залежить від контролера. Проте складність здійснення контролю через необхідність фотографування внутрішньої різі такий метод в умовах виробництва не знайшов широкого розповсюдження [96]. Тому для виконання експериментальних досліджень в частині контролю обробки внутрішніх різей трикутного профілю приймаємо метод контролю за зразками шорсткості.

Для контролю круглої різі приймаємо метод контролю за допомогою профілометра, так як розрахункова довжина частини дуги круглої різі на прикладі R32 дорівнює приблизно чотирьом базовим довжинам для контролю шорсткості 3,2 мкм за критерієм Ra, яка вказана на вимогах, що передбачені стандартом до даної різі.

2.7 План експерименту

Беручи до уваги той факт, що процес механічної обробки різей непрофільним інструментом безпосередньо пов'язаний з параметрами оброблювальних різей, був використаний повнофакторний експеримент (ПФЕ).

Побудова матриць ПФЕ була реалізована на двох рівнях за двома факторами. Таким чином, були реалізовані матриці типу 2^2 для типів різей, що можуть бути оброблені запропонованим способом, але потребують додаткових математичних розрахунків.

У результаті були побудовані матриці (табл. 2.1, табл. 2.2), що складаються з 7 дослідів, по одному в кожній з точок екстремуму, в плані і трьох повторень в центрі плану.

Для метричної різі: $14 \leq X_1 \leq 64$; $2 \leq X_2 \leq 6$.

Для дюймової різі: $11,445 \leq X_1 \leq 110,072$; $1,337 \leq X_2 \leq 2,309$

де X_1 – зовнішній діаметр різі D , мм;

X_2 – крок різі p , мм.

Таблиця 2.1

Матриця планування експерименту 2^2 для метричної різі

№ досліду	X_0	X_1	X_2	D , мм	p , мм
1	+	+	+	64	6
2	+	-	+	14	6
3	+	+	-	64	2
4	+	-	-	14	2
5	+	0	0	39	4

Таблиця 2.2

Матриця планування експерименту 2^2 для дюймової різі

№ досліду	X_0	X_1	X_2	D , мм	p , мм
1	+	+	+	G4" (110,072 мм)	2,309
2	+	-	+	G1/4" (11,445 мм)	2,309
3	+	+	-	G4" (110,072 мм)	1,337
4	+	-	-	G1/4" (11,445 мм)	1,337
5	+	0	0	G7/8" (27,877 мм)	1,814

2.8 Висновки

У даному розділі на підставі аналізу існуючих способів оброблення внутрішніх різей та виявлення їх переваг та недоліків запропоновано технологія оброблення внутрішніх різей, що заснований на методі огинання та застосування непрофільного різального інструменту. Розроблена модель схеми зняття припуску та траєкторії руху різального інструменту при обробці різей круглого та трикутного профілю.

Систематизовано передумови для обробки внутрішніх різей на фрезерних верстатах з ЧПК методом огинання та встановлено, що за останні 25 років обсяг випуску верстатів з ЧПК збільшилось приблизно у 20 разів. У зв'язку із цим особливого розвитку набуло фрезерування різей одонитковими різьбовими фрезами на верстатах з ЧПК шляхом виконання планетарного руху різального інструменту відносно деталі.

Визначено номенклатуру різальних пластин для застосування у конструкції непрофільного інструменту. Запропоновано області застосування різних типів пластин для конкретних типів різей, а також здійснено рекомендації з вибору геометричних параметрів пластин для стадій обробки.

Запропоновано методику проектування різальних інструментів шляхом застосування стандартних різальних пластин для токарної обробки із конкретними геометричними параметрами при обробці методом огинання виходячи із графічної інтерпретації умови обробки.

Розглянуто загальні методи оцінювання параметрів якості різей різьбових поверхонь деталей машин та запропоновано методики оцінювання параметрів точності та шорсткості оброблених різьбових поверхонь круглого та трикутного профілів.

Основні метрологічні показники застосовуваних засобів вимірювання забезпечили отримання даних з похибкою не більше 2%.

Розроблено план повнофакторного експерименту типу 2^2 з варіюванням параметрів профілю різей для проектування та розробки непрофільного різального інструменту, параметрів його руху.

Результати досліджень даного розділу наведено в публікації:

Пат. UA №103734. Спосіб обробки круглої внутрішньої різьби / Некрасов С.С., Криворучко Д.В., Нешта А.О. МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. – № а201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. № 21.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ

3.1 Аналіз процесу силової взаємодії непрофільного різального інструмента із заготовкою

Так як оброблення різі непрофільним інструментом за методом огинання супроводжується зміною глибини різання при зрізанні різного значення припуску у западинах та на вершинах тому даний процес є нестационарним. Враховуючи суттєву нестационарність процесу доцільним є дослідження силової взаємодії елементів в технологічній системі та визначення оптимальних режимів різання задля забезпечення найвищої продуктивності.

Так як процес оброблення непрофільним інструментом через зняття змінного припуску є нестационарним, то варто визначити при якій кількості різальних елементів значення результуючої сили F_r різання та величина її зміни у процесі обертання непрофільного інструменту та його руху уздовж траєкторії будуть мати мінімальні значення. Для цього розглянемо схему силової взаємодії непрофільного різального інструменту із заготовкою (рис. 3.1).

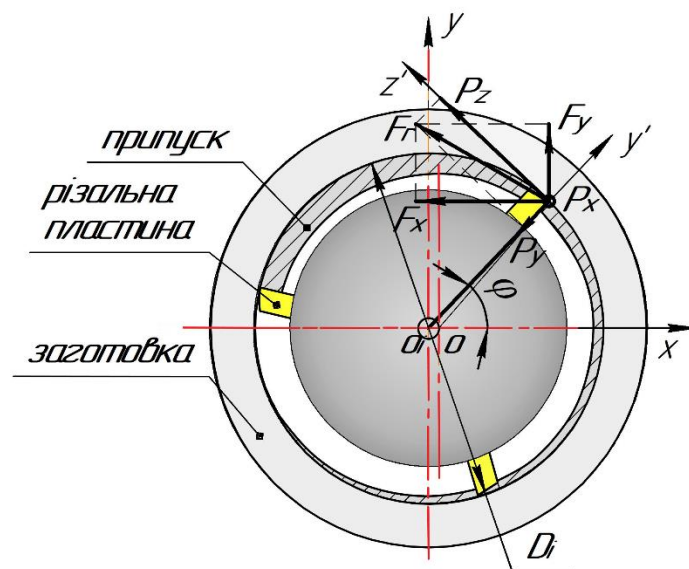


Рисунок 3.1 – Аналіз силової взаємодії непрофільного різального інструмента та заготовки

Обмежуючим фактором у математичній моделі є величина максимальної результуючої сили Fr для однієї різальної пластини (рис. 3.1), що діє у площині XO_iY поперечного перерізу. Сила Fr залежить від кількості різальних елементів n_{re} , подачі s_z , глибини різання t , швидкості різання V , яка в свою чергу на пряму залежить від частоти обертання шпинделя n_i . Запропонована модель заснована на геометричному представленні у поперечному перерізі векторної суми компонентів окремих складових F_x , F_y результуючої сили Fr різання, які розраховані за ступеневими залежностями для різального інструмента з одним різальним елементом (3.1).

$$\begin{cases} F_x = P_z \sin \varphi - P_y \cos \varphi \\ F_y = P_z \cos \varphi - P_y \sin \varphi \end{cases} \quad (3.1)$$

Залежність (3.2) визначає проекції результуючої сили Fr різання, що виникають при обробленні внутрішньої різи непрофільним інструментом із довільною кількістю різальних пластин $i = \overline{1, n_{re}}$.

$$\begin{cases} F_x^{n_{re}}(\varphi) = \sum_{i=1}^{n_{re}} F_x \left(\varphi + \frac{2\pi}{n_{re}}(i-1) \right) \\ F_y^{n_{re}}(\varphi) = \sum_{i=1}^{n_{re}} F_y \left(\varphi + \frac{2\pi}{n_{re}}(i-1) \right) \end{cases} \quad (3.2)$$

Розрахунки у середовищі MATLAB при заданих умовах (діаметр інструмента 30 мм, висота профілю $H=1,5$ мм, коефіцієнти емпіричної моделі сили різання: $C_p=300$, $x=1,0$; $y=0,75$, $m=0,2$) були проведені для варіантів інструмента із кількістю різальних елементів від $n_{re}=1$ до $n_{re}=5$.

Вздовж одного кроку різи p (розглянуті 3 довільні точки положення різального елемента: $L=0$; $L=\frac{1}{3}p$ та $L=\frac{2}{3}p$) (рис. 3.2) фаза максимальної глибини різання та максимальної сили різання змінюється.

На рис. 3.3 – 3.7 показана девіація глибини різання Δt та сили ΔFr в процесі руху інструмента із кількістю різальних елементів від $n_{re}=1$ до $n_{re}=5$. від мінімальної до максимальної глибини різання.

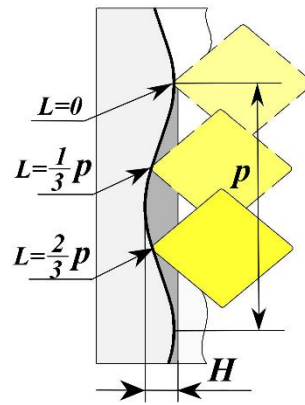


Рисунок 3.2 – Положення різального елемента інструмента

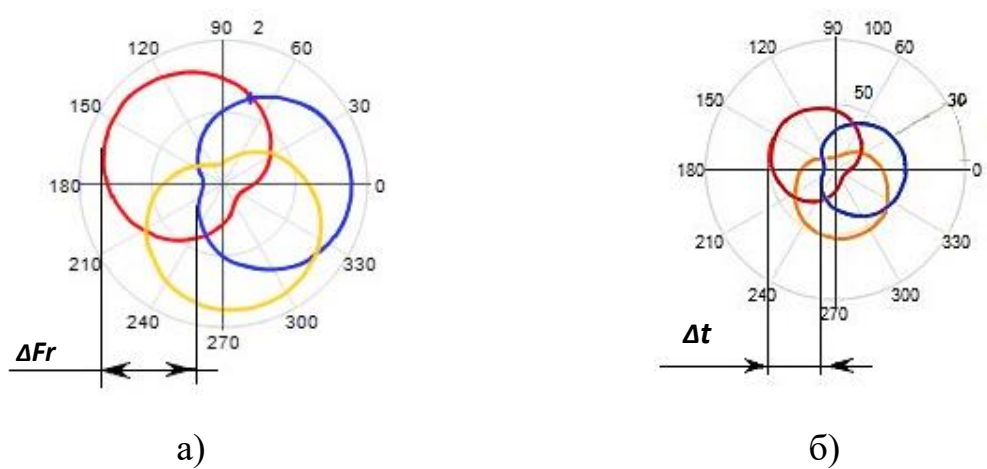


Рис. 3.3 – Зміна сили ΔFr різання (а) та глибини Δt різання (б) в полярній системі координат при $n_{re}=1$

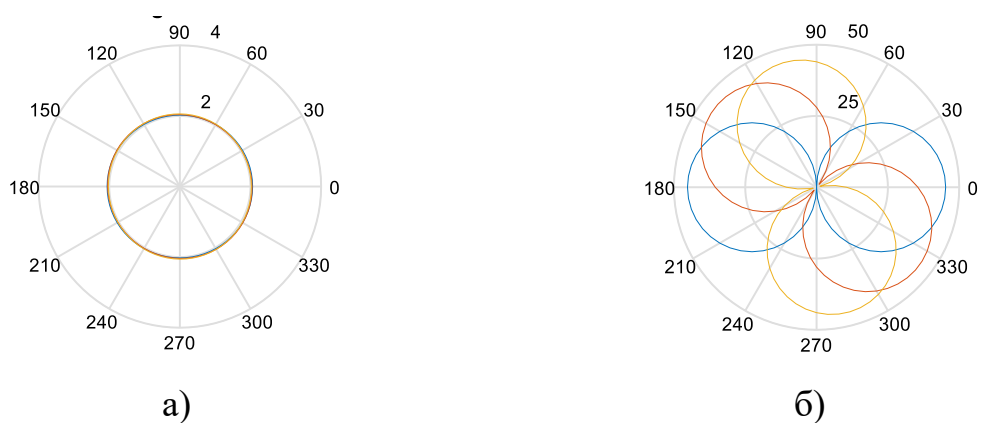
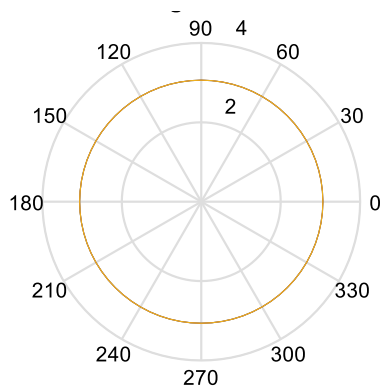
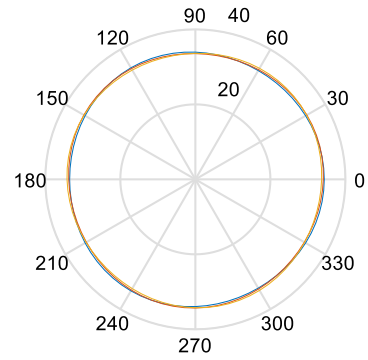


Рис. 3.4 – Зміна сили ΔFr різання (а) та глибини Δt різання (б) в полярній системі координат при $n_{re}=2$.

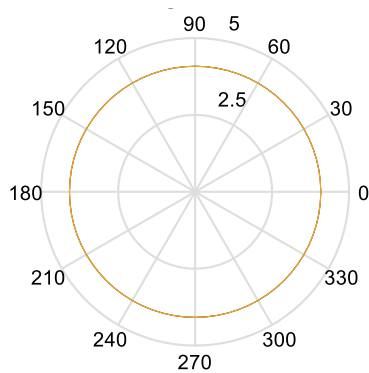


а)

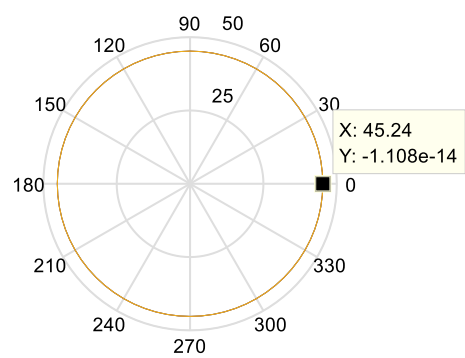


б)

Рис. 3.5 – Зміна сили ΔFr різання (а) та глибини Δt різання (б) в полярній системі координат при $n_{re}=3$.

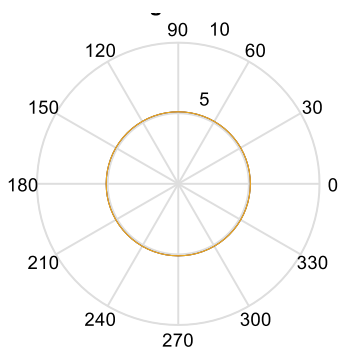


а)

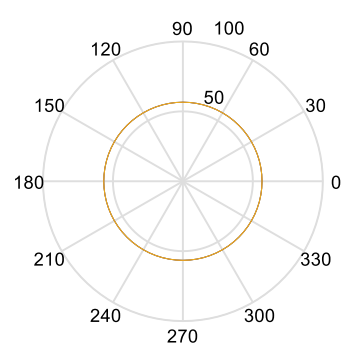


б)

Рис. 3.6 – Зміна сили ΔFr різання (а) та глибини Δt різання (б) в полярній системі координат при $n_{re}=4$.



а)



б)

Рис. 3.7 – Зміна сили ΔFr різання (а) та глибини Δt різання (б) в полярній системі координат при $n_{re}=5$.

Серед усіх розглянутих варіантів конструкції інструменту максимальна сила Fr_{max} , зміна сили ΔFr у межах одного кроку гвинтової траєкторії при обробленні різі для інструменту з $n_{re}=3$ є мінімальними (рис. 3.8). Це свідчить про найбільш сприятливі умови перебігу процесу з точки зору силової взаємодії, а отже дозволяє прогнозувати значення відхилення непрофільного різального інструмента у площині XO_iY під дією пружних деформацій.

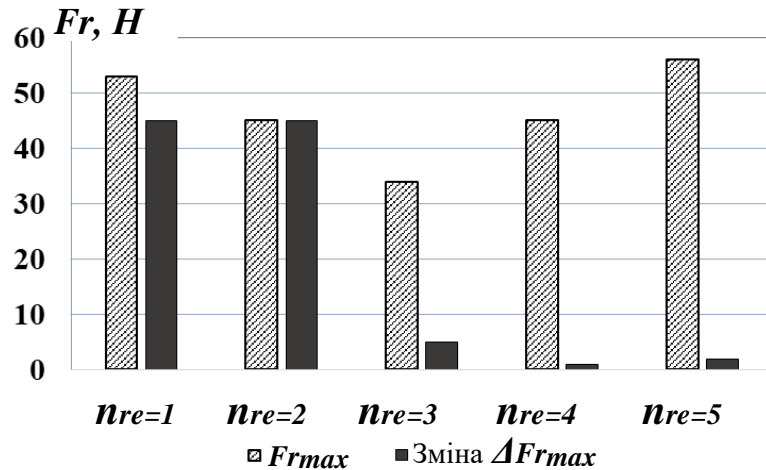


Рисунок 3.8 – Вплив кількості різальних елементів n_{re} на максимальну силу Fr_{max} , зміну сили ΔFr у межах кроку гвинтової траєкторії інструмента

Таким чином за результатами математичного моделювання процесу силової взаємодії непрофільного різального інструмента та заготовки приймаємо для подальших досліджень інструмент із трьома різальними елементами.

3.2 Аналіз профілю різей у поперечному перерізі

Для виявлення області можливого застосування запропонованого способу обробки внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК були розглянуті найбільш поширені стандартні типи різей (метрична, дюймова, трапецеїдальна, упорна, кругла). У програмі КОМПАС 3D були побудовані 3D-моделі внутрішніх різей в отворі деталі згідно розмірам відповідних стандартів. Шляхом автоматизованого створення проекції деталі з 3D-моделей були отримані профілі різей в осьовому перерізі (рис. 3.9). Цей

отриманий профіль являє собою замкнутий контур, що складається з сукупності кривих 2-го і 4-го порядків. Криві 2-го порядку є частинами кіл, діаметр яких дорівнює діаметру западин внутрішньої різі, а криві 4-го порядку – проекції частин витка різі в осьовому перерізі деталі.

Отриманий профіль в осьовому перерізі є досить складним і трудомістким для отримання, що вимагає використання спеціального інструменту та обладнання. Причому криві 4-го порядку будуть розбиватися на безліч елементарних кривих 2-го і 1-го порядків, рух уздовж яких може бути запрограмований. Причому для можливості створення керуючої програми криві 4-го порядку будуть розбиватися на безліч елементарних кривих 2-го і 1-го порядків.

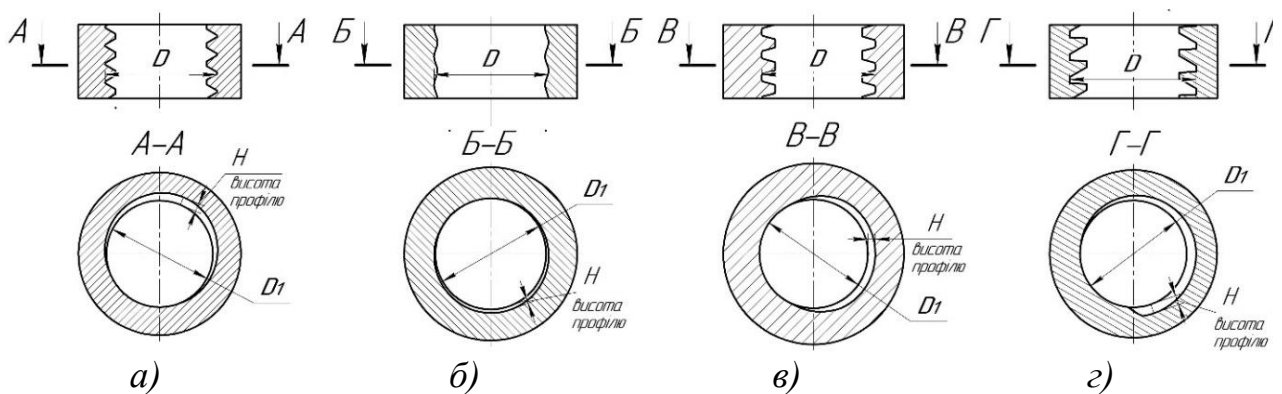


Рис. 3.9 – Профілі в осьовому перерізі внутрішніх різей:

а) метричної, дюймової; б) круглої; в) трапецеїдальної; г) упорної

Непрофільний інструмент для обробки внутрішньої різі є інструментом постійного діаметру, який при обертанні навколо своєї осі і руху по гвинтовій траєкторії в конкретний момент часу утворює коло, діаметр якого дорівнює діаметру різального інструменту (без урахування похибок, що виникають в процесі різання).

Для обробки методом огинання непрофільним інструментом необхідно визначити коло, максимально наближене до профілю різі в осьовому перерізі, яке буде утворюватися при обертанні інструменту в конкретний момент часу.

Максимально наближене коло при цьому і буде номінальним діаметром непрофільного інструменту. Побудова діаметра непрофільного інструменту проводиться по базових точках (рис. 3.10), які знаходяться в місцях перетину проекції осьового перерізу вершини з осьовим перерізом западини різи (точки 1, 2) і точки 3, максимально віддаленій від осі різи, що знаходиться на максимальному діаметрі западини різи.

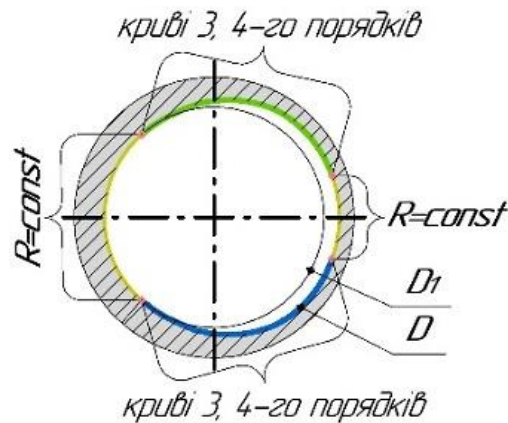


Рис. 3.10 – Схематичний профіль внутрішньої різи в осьовому перерізі

В результаті побудови виявляється розбіжність максимально наближеного кола і осьового перерізу різи, яке можливо визначити максимальною відстанню (відхиленням) між осьовим перерізом профілю і діаметром різального інструменту (рис. 3.11 а). Максимальна відстань між необхідним осьовим перерізом профілю різи і проведеним діаметром різального інструменту D_i є відхилення Δ_{max} , яке буде основним критерієм впливу на точність виготовлення різи (рис. 3.11 б).

Максимальне відхилення Δ_{max} є основним критерієм впливу на точність виготовлення різи, а саме – його величина не повинна перевищувати допустимого відхилення середнього діаметра відповідно до стандарту.

Обробка різи конкретного типорозміру можлива, якщо максимальна величина відхилення діаметра непрофільного інструменту від необхідного профілю різи менше допустимого відхилення діаметра різи по стандарту:

$$\Delta_{max} < T_{D2} \quad (3.3)$$

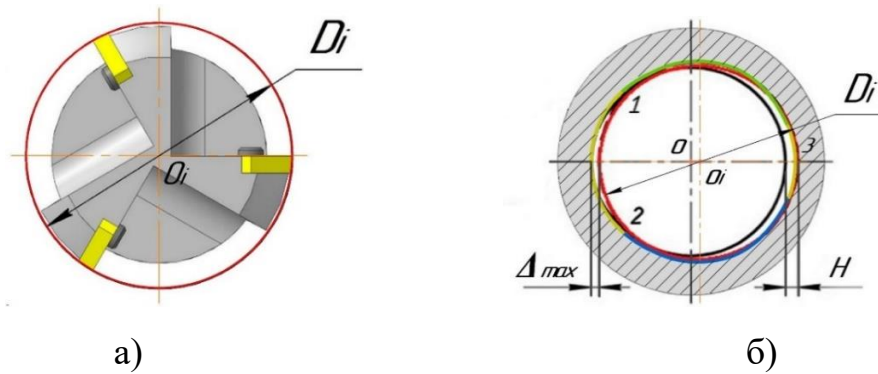


Рисунок 3.11 – Профілі в осьовому перерізі внутрішніх різей: а) діаметр різального інструменту; б) максимальне відхилення діаметра інструменту від профілю різі в осьовому перерізі

Якщо умова не виконується, то даний спосіб обробки для конкретної різі неприйнятний. Алгебраїчна різниця між допуском на виготовлення різі і величиною максимального відхилення є резервом для призначення допуску на виготовлення непрофільного різального інструменту.

3.3 Діапазони обробки різей методом огинання

Як правило, для конкретного типорозміру різі існує основний крок (великий) і кількість "дрібних" кроків, які завжди менше основного, що в свою чергу, впливає на величину максимального відхилення Δ_{max} . Тому необхідно виявити залежність величини максимального відхилення Δ_{max} при постійному діаметрі і різних кроках різі, а також при постійному кроці і різних діаметрах, щоб визначити який параметр профілю має найбільший вплив на величину відхилення Δ_{max} .

Параметри профілю різі можуть мати значення, які не залежать один від одного, але знаходяться в межах встановлених відповідними стандартами, що при визначенні діапазонів типорозмірів різей і видачу відповідних рекомендацій щодо застосування нового способу вимагає визначення ступеня впливу кожного параметра на величину максимального відхилення.

Для визначення області застосування способу обробки непрофільним інструментом були розглянуті метричні різі різних типорозмірів класу точності 7, отримані їх осьові перерізи і виміряні максимальні відхилення Δ_{max} для кожного з типорозмірів. За результатами побудов була встановлена залежність відхилення Δ_{max} від типорозмірів метричної різі (рис. 3.12), по якій можна визначити область застосування запропонованого способу для її обробки.

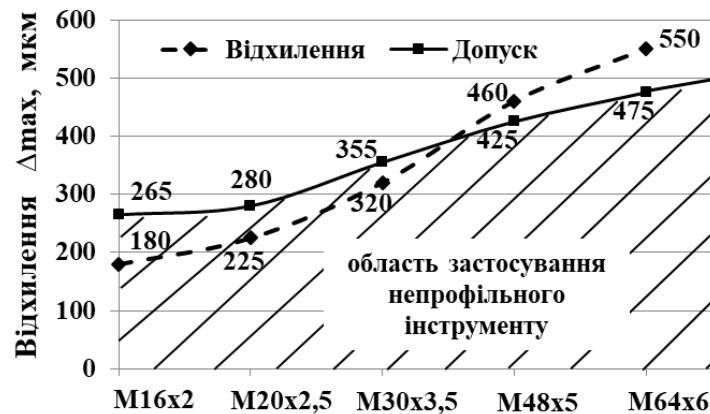


Рис. 3.12 – Вплив параметрів різі на максимальне відхилення при обробці метричної різі

Якщо величина відхилення Δ_{max} не перевищує допуск T_{D2} , то даний типорозмір різі можливо обробити непрофільним різальним інструментом.

Для визначення залежності відхилення Δ_{max} від діаметра різі D були розглянуті профілі різей при постійній величині кроку p для декількох діаметральних діапазонів (рис. 3.13).

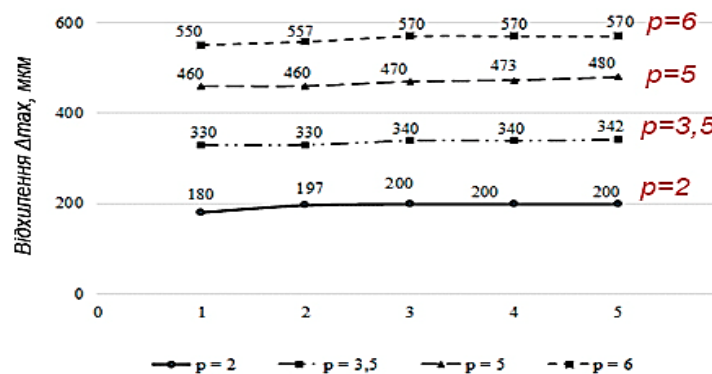


Рис. 3.13 – Залежність величини відхилення Δ_{max} від діаметра різі D і кроку p

Виходячи з отриманих значень величини максимального відхилення встановлено, діаметр метричної різі D не впливає на величину відхилення Δ_{max} , різі M16x2 і M250x2 мають практично однакові відхилення і їх можливо обробити непрофільним інструментом, а M48x5 обробити неможливо, тому що відхилення більше допустимого. Крім того, для інших типів різей діаметр також не впливає на величину відхилення. Виходячи з отриманих даних, область застосування непрофільного інструменту для обробки метричної різі знаходиться в діапазоні кроків $p = 2 \div 3,5$ мм. Діаметральний діапазон обмежується лише конструктивними розмірами проектного непрофільного інструменту.

Для визначення області застосування запропонованого способу обробки трапецеїдальних різей (профіль і відхилення згідно ГОСТ 9484-81, ГОСТ 24737-81 [98, 99]) були розглянуті трапецеїдальні різі різних типорозмірів класу точності 7. За результатами побудов була встановлена залежність відхилення Δ_{max} від типорозмірів трапецеїдальної різі (рис. 3.14).

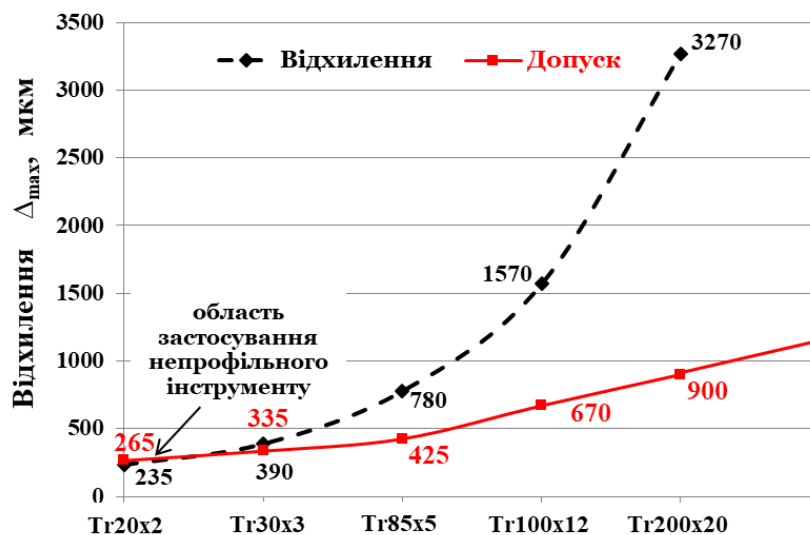


Рис. 3.14 – Область застосування запропонованого способу при обробці трапецеїдальної різі

Як і для метричної різьби, діаметр трапецеїдальної різі практично не впливає на величину відхилення Δ_{max} . Виходячи з отриманих даних область застосування непрофільного інструменту: тільки різі з кроком $p = 2$ мм.

Упорні різі (профіль і відхилення згідно ГОСТ 10177-82). Для визначення області застосування запропонованого способу обробки були розглянуті упорні різі різних типорозмірів. За результатами побудов була встановлена можлива область застосування запропонованого способу обробки упорних різей (рис. 3.15).

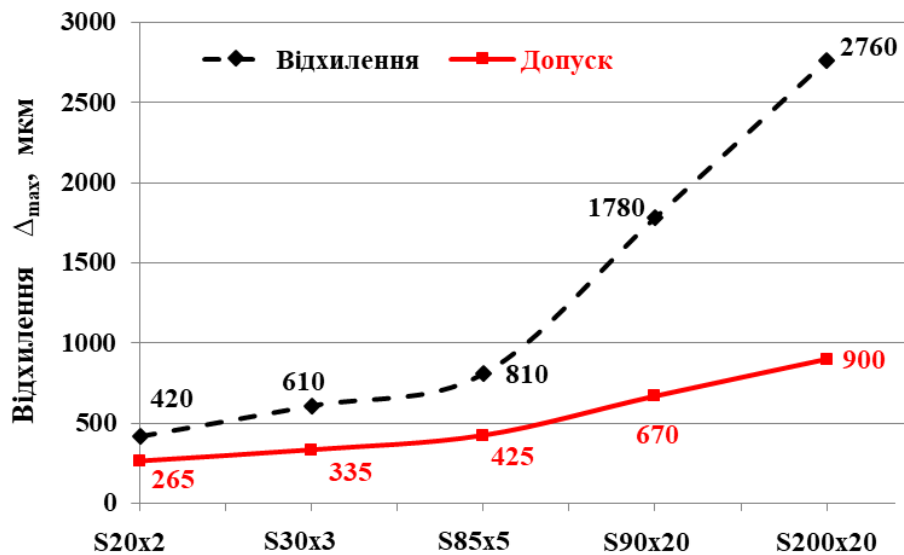


Рис. 3.15 – Область застосування запропонованого способу обробки упорних різей

Згідно з даними значення Δ_{max} для всіх розмірів упорних різей перевищує допустимі значення T_{D2} , тому даний тип різі неможливо обробити непрофільним різальним інструментом.

Для визначення області застосування запропонованим способом обробки дюймових різей (профіль і відхилення згідно ГОСТ 6111-52 [101]) були розглянуті різні типорозміри різей класу точності А. За результатами побудов була встановлена залежність відхилення Δ_{max} від типорозмірів дюймових різей (рис. 3.16).

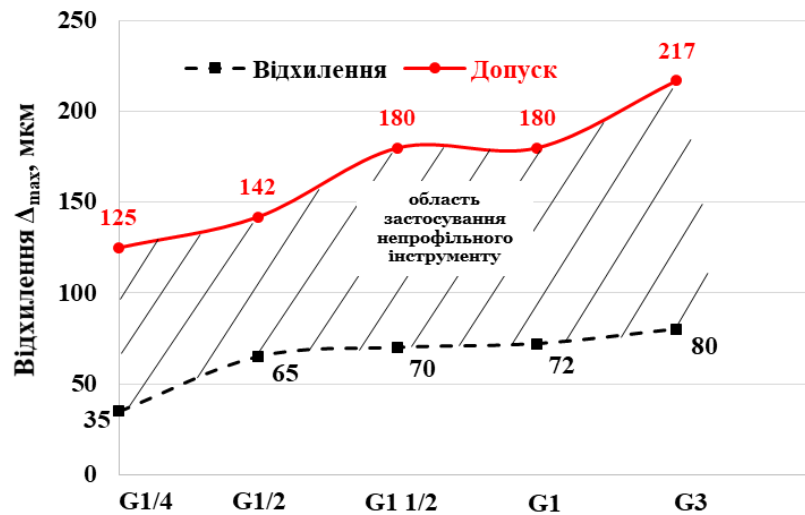


Рис. 3.16 – Область застосування запропонованого способу обробки дюймових різей

Згідно з даними значення Δ_{max} при всіх розмірах дюймових різей не перевищує допуск T_{D2} , тому дюймові різі всіх кроків можливо обробляти запропонованим способом.

Кругла різь (профіль і відхилення згідно ISO 10208, DIN 20317 [45, 46]). Для визначення області застосування запропонованого способу обробки були розглянуті круглі різі з кроком $p = 12,7$ мм. За результатами побудов була встановлена залежність відхилення Δ_{max} від типорозмірів круглої різі (рис. 3.17), по якій можна визначити область застосування запропонованого способу обробки.

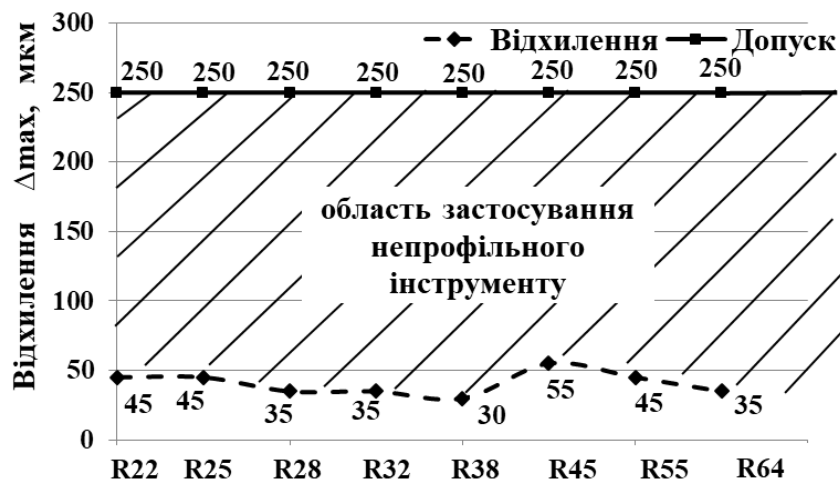


Рис. 3.17 – Область застосування запропонованого способу обробки круглої різі

Згідно з даними значення Δ_{max} при всіх розмірах круглих різей не перевищує допуск T_{D2} , тому всі типорозміри круглих різей можливо обробляти запропонованим способом.

Отже, область застосування технології оброблення методом огинання непрофільним інструментом для метричної – в діапазоні кроків $p=2\div3,5$ мм та діаметрами $D=16\div64$ мм, трапецеїдальної $p=2$ мм та діаметрами $D=16\div28$ мм, дюймової – з усіма типорозмірами кроків та діаметрами $G3/8\div G3"$ та круглої – з кроком $p=12,7$ мм та діаметрами $R22\div64$ мм. Упорна різь не може бути оброблена вищевказаним способом. Діаметральний діапазон оброблюваних різей обмежується лише конструктивними розмірами інструмента.

3.4 Визначення параметрів різального інструменту та його траєкторії від параметрів різей

Конструктивні параметри непрофільного різального інструменту і параметри налаштування обладнання безпосередньо залежать від параметрів оброблювальних різей. Функціональні залежності радіуса непрофільного інструменту R_i і радіусу гвинтової траєкторії його руху r залежать від таких факторів, як крок p і номінальний діаметр D різі:

$$R_i \equiv f(D, p); \quad (3.4)$$

$$r \equiv f(D, p) \quad (3.5)$$

Профілі поперечних перерізів різей представляють собою замкнуті контури, які складаються з частин кіл діаметра западин різі і проекцій інших частин витка. Відстань від центру O різі до точок контуру профілю поперечного перерізу дорівнює радіусу R_k (рис. 3.18), величина якого змінюється в процесі руху формотвірної точки і графічним способом визначена з кутовим кроком $\varphi = 10^\circ$. Всього було отримано $k = 36$ різних значень радіуса контуру R_k , що дозволяє з достатньою точністю отримати наближене коло. Непрофільний різальний інструмент при обробці в конкретний момент часу утворює коло

постійного радіуса R_i , з центром O_i , який при обробці зміщується щодо центру різи O на величину r (радіус його гвинтової траєкторії).

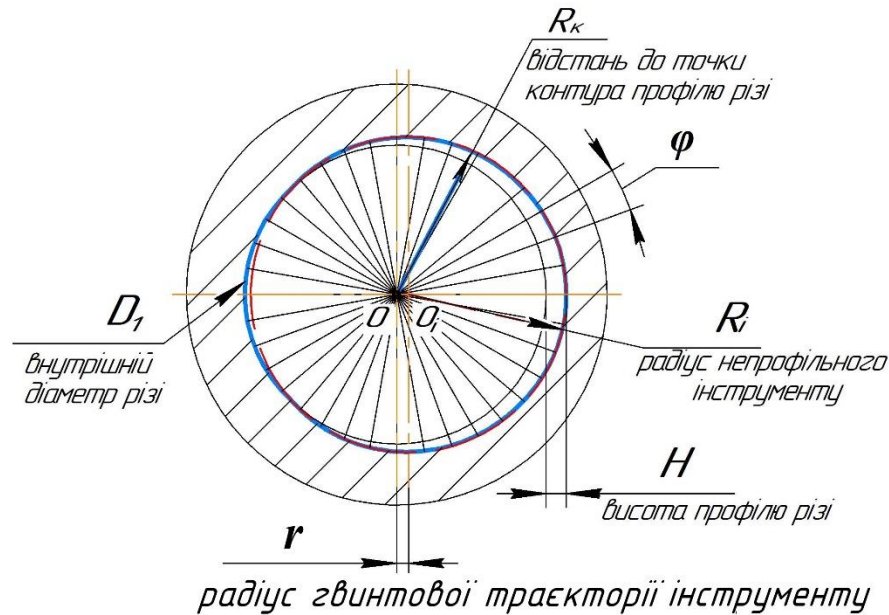


Рис. 3.18 – Схематичний профіль різи в поперечному перерізі

Так як профілі поперечного перерізу різи і різального інструменту не збігаються, то для оброблення різи в межах поля допуску необхідно визначити такий радіус R_i (рис. 3.19) непрофільного інструменту і радіус r його гвинтової траєкторії, при яких сума квадратів розбіжностей їх профілів в k точках буде мінімальним:

$$\sum_{i=1}^{36} (R'_k(\varphi_i, R_i, r) - R_k(\varphi))^2 \rightarrow \min \quad (3.6)$$

де R'_k – радіус від центру різи до точок контуру поперечного перерізу різи, що враховує параметри відносного руху інструменту в системі отвору різи);

R_k – радіус від центру різи до точок контуру поперечного перерізу різи;

φ_i – кутовий крок формотвірної точки різи при $i \in [1; 36]$.

Діаметр непрофільного інструменту описується рівнянням кола, параметри якого враховують відносний рух інструменту в системі координат різи:

$$R'^2_\kappa = x^2 + y^2; \quad (3.7)$$

$$x^2 = R_i^2 \cos^2 \varphi;$$

$$y^2 = R_k'^2 - (R_i \cos \varphi - r)^2 \quad (3.8)$$

де r – радіус гвинтової траєкторії непрофільного інструмента, мм;

φ – кутова координата в полярній системі координат, °;

x, y – координати в декартовій системі;

R'_k – радіус від центру різі до точок контуру поперечного перерізу різі, що враховує параметри відносного руху непрофільного інструмента в системі отвору різі.

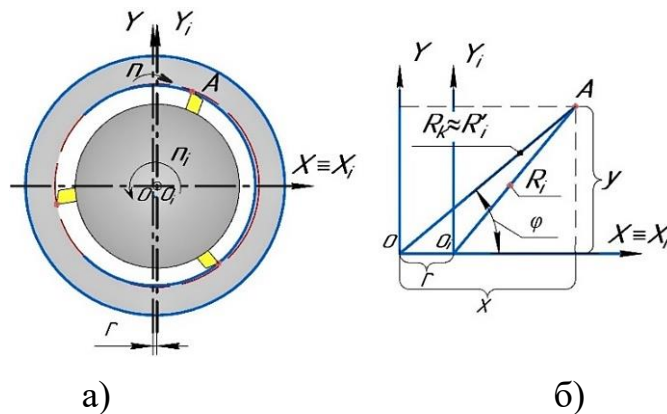


Рис. 3.19 – Визначення радіуса непрофільного інструмента і радіуса траєкторії його руху: а) схема оброблення різі в поперечному перерізі; б) схематичне зображення систем координат заготовки та інструмента у довільний момент часу.

Вирішуючи рівняння 3.8 відносно радіуса R'_k , отримаємо:

$$R'_k = r \cdot \cos \varphi + \sqrt{r^2 \cos^2 \varphi - r^2 + R_i^2} \quad (3.9)$$

Отримані графічним способом дані радіусів контуру поперечного перерізу різі R_k , значення кута φ і розрахункова залежність R'_k (3.9) зводяться в таблицю. Методом найменших квадратів визначаються значення радіуса непрофільного різального інструменту R_i і радіуса його гвинтової траєкторії r , при яких розбіжність профілів поперечного перерізу різі та інструменту мінімальні.

Для визначення ступеня впливу факторів запропоновано використовувати лінійну регресійну модель виду:

$$R_i(D, p) = a_0 + a_1 D + a_2 p ; \quad (3.10)$$

$$Xi(D, p) = b_0 + b_1 D + b_2 p , \quad (3.11)$$

де $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – коефіцієнти регресії.

В результаті пошуку значень коефіцієнтів регресії методом найменших квадратів рівняння 3.10, 3.11 приймають вид (формули 3.12-3.14). Так як для проектування і виготовлення непрофільного інструменту прийнято використовувати діаметральні вираження, то перетворимо функціональні залежності для різних типів різей до виду:

1) для метричних різей:

$$D_i = D_1 + 0,548p + 0,0489 \quad (3.12)$$

2) для дюймових різей:

$$D_i = D_1 + 0,657p \quad (3.13)$$

3) для круглих різей:

$$D_i = D_1 + H \quad (3.14)$$

де D_i – номінальний діаметр непрофільного інструменту, мм;

D_1 – внутрішній діаметр різі, мм;

p – крок різі, мм;

H – висота профілю різі, мм.

Радіус r гвинтової траєкторії руху різального інструменту r :

1) для метричної різі:

$$r = 0,277p + 0,0489 \quad (3.15)$$

2) для дюймової різі:

$$r = 0,328p \quad (3.16)$$

3) для круглої різи:

$$r = \frac{H+T_H}{2} \quad (3.17)$$

3.5 Оптимізація режимів різання при обробленні внутрішніх різей непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК

Найбільш поширеним методом оптимізації режимів різання є метод лінійного програмування, що дозволяє здійснювати пошук екстремуму (максимуму чи мінімуму) цільової функції в лінійному вигляді з урахуванням обмежень на змінні, які також виражені у вигляді лінійних залежностей.

Для оптимізації режимів різання метод лінійного програмування полягає у пошуку таких значень швидкості різання і подачі, при яких продуктивність процесу різання набувала б максимального значення або собівартість обробки – мінімального при забезпеченні необхідної точності та якості. Обов'язковою умовою використання цього методу є можливість лінеаризації цільової функції і обмежень. Для лінійної цільової функції і лінійних обмежень широко використовується графічний метод пошуку оптимальних режимів різання.

В якості цільової функції прийнята максимальна продуктивність f_0 оброблення, що досягається поєднанням максимально допустимих значень частоти обертання n і подачі s ($f_0 = n \cdot s \rightarrow \max$) при заданій глибині різання та зводиться до мінімізації основного часу t_o на оброблення різи (3.18):

$$t_o = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot V \cdot s} \rightarrow \min \quad (3.18)$$

де L – розрахункова довжина шляху різального інструменту в напрямку подачі, мм;

i – кількість проходів;

D – діаметр обробленої поверхні, мм.

Для вирішення задачі оптимізації режимів різання необхідно встановити ряд критеріїв та обмежень. Обмеження в задачі оптимізації являють собою

аналітичний взаємозв'язок між технологічними умовами оброблення та режимами різання, що підлягають оптимізації.

Технологічними обмеженнями при обробленні круглих внутрішніх різей є:

1) обмеження b_1 за можливостями різального інструменту встановлює взаємозв'язок між швидкість V різання та кількісними показниками оброблюваності V_T (V_T – швидкість різання, що відповідає певній стійкості інструмента):

$$V \leq V_T \quad (3.19)$$

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}; \quad V_T = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot s^{Y_V}}, \quad (3.20)$$

Де $D = 30$ – діаметр обробленої поверхні, мм;

$C_V = 420$ – коефіцієнт, що враховує умови роботи інструмента, прийняті за основу;

$K_V = 0,72$ – коефіцієнт, що враховує відмінність конкретних умов оброблення від прийнятих за основу;

$t = 1,5$ – глибина різання, мм;

$X_V = 0,15$; $Y_V = 0,2$; $m = 0,2$ – показники ступеня, що відображають вплив глибини t різання, подачі s та стійкості T інструмента.

Використовуючи ці залежності, зводимо обмеження до явного вигляду:

$$n \cdot s^{Y_V} \leq \frac{318 \cdot C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot D} \quad (3.21)$$

Отримаємо:

$$n \cdot s^{0,2} \leq \frac{318 \cdot 420 \cdot 0,72}{30^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 30} = 1528.$$

2) обмеження b_2 за потужністю електродвигуна приводу головного руху верстата:

$$N_{\text{еф}} \leq N \cdot \eta \quad (3.22)$$

$$N_{\text{еф}} \leq \frac{P_Z \cdot V}{60 \cdot 1020} = \frac{10 C_{pz} K_{pz} S^{Y_{pz}} \cdot t^{X_{pz}} \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot V^{n_{pz}}}{60 \cdot 1020 \cdot 1000} \quad (3.23)$$

де $N_{\text{еф}}$ – ефективна потужність, кВт;

$N = 11$ – максимальна потужність, обумовлена можливостями верстата, кВт;

$\eta = 0,8$ – ККД передачі від електродвигуна до різального інструмента;

$C_{Pz} = 300$ – коефіцієнт, що враховує вплив умов роботи на силу та крутні моменти на шпинделі верстата, прийняті за основу;

$K_{Pz} = 0,957$ – коефіцієнт, що враховує відмінність конкретних умов роботи від взятих за основу;

$n_{Pz} = 0,85$; $X_{Pz} = 1$; $Y_{Pz} = 0,75$ – показники ступеня, що відображають вплив глибини t різання, подачі s та швидкості різання на тангенціальну складову сили різання P_z .

Розв'язавши нерівність відносно n та s , отримаємо:

$$n^{n_{Pz}} \cdot s^{Y_{Pz}} \leq \frac{1000^{n_{Pz}} \cdot 612 \cdot 10^4 \cdot N}{10 C_{Pz} \cdot K_{Pz} (\pi D)^{n_{Pz}} \cdot t^{X_{Pz}}} \quad (3.24)$$

$$n^{0,85} \cdot s^{0,75} \leq \frac{1000^{0,85} \cdot 8,8 \cdot 1020 \cdot 60}{10 \cdot 300 \cdot 0,957 \cdot (3,14 \cdot 30)^{0,85} \cdot 1,5^{1,0}} \quad (3.25)$$

$$n^{0,85} \cdot s^{0,75} \leq 931,4.$$

3) обмеження b_3 за силою, що допускається міцністю ланки механізму подачі верстата електродвигуна приводу головного руху верстата:

$$P_X \leq [P_B] \quad (3.26)$$

$$P_X = C_{Px} \cdot K_{Px} \cdot t^{X_{Px}} \cdot s^{Y_{Px}} \cdot 9,81 \leq [P_B] \quad (3.27)$$

де $C_{Px} = 300$; $K_{Px} = 0,957$; $Y_{Px} = 0,75$ – коефіцієнти, що визначаються з довідника;

P_X – осьова складова сили різання, Н;

$[P_B]$ – максимально допустима сила за паспортом верстата, кВт.

$$s^{Y_{Px}} \leq \frac{[P_B]}{9,81 \cdot C_{Px} \cdot t^{X_{Px}} \cdot K_{Px}} \quad (3.28)$$

$$s^{0,75} \leq \frac{8 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 10 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 0,957} \quad (3.29)$$

$$s^{0,75} \leq 0,189.$$

4) обмеження b_4 за міцністю корпусу інструмента, що розглядається як консоль, що навантажена на кінці тангенціальною силою P_z :

$$M_{3\Gamma} \leq \frac{\sigma_u \cdot W_c}{K_3} \quad (3.30)$$

$$M_{3\Gamma} = P_z \cdot l_p \quad (3.31)$$

$$W_{3\Gamma} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (3.32)$$

$$P_z = C_{Pz} \cdot K_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot s^{y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \quad (3.32)$$

де $M_{3\Gamma}$ – момент згину, Н·м

$l_p = 80$ – виліт різального інструмента, мм;

$\sigma_u = 240$ – межа міцності матеріала корпусу інструмента (термооброблена сталь 45), Мпа;

W_c – опір перерізу корпусу інструмента, мм³;

K_3 – коефіцієнт запасу міцності;

$n_{Pz} = -0,15$ – показний ступеня, що характеризує вплив швидкості на величину тангенціальної сили P_z .

$$n^{n_{Pz}} \cdot s^{y_{Pz}} \leq \frac{\sigma_u \cdot W_c \cdot 1000^{n_{Pz}}}{C_{Pz} \cdot K_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot l_p (\pi \cdot D)^{n_{Pz}}} \quad (3.33)$$

$$n^{-0,15} \cdot s^{0,75} \leq \frac{240 \cdot 1,53 \cdot 10^4 \cdot (1000)^{-0,15}}{10 \cdot 300 \cdot 0,957 \cdot 80 \cdot (3,14 \cdot 30)^{0,85} \cdot 1,5^{1,0}}$$

$$n^{-0,15} \cdot s^{0,75} \leq 7,56.$$

5) обмеження b_5 за подачею, що допускається міцністю різальної пластини.

$$s^{y_{Pz}} \leq \frac{34 \cdot c^{1,25} \cdot \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi}\right)^{0,8}}{C_{Pz} \cdot t^{(x_{Pz}-0,77)} \cdot K_{Pz}} \quad (3.34)$$

де $c = 6$ – товщина різальної пластини, мм;

$\varphi = 50$ – головний кут в плані різальної пластини, °.

$$s^{0,75} \leq \frac{34 \cdot 6^{1,25} \cdot \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin 50^\circ}\right)^{0,8}}{300 \cdot 1,5^{0,23} \cdot 0,957}$$

$$s^{0,5} \leq 1,12.$$

Обмеження $b_6 - b_9$ встановлюють взаємозв'язок розрахункових значень частоти обертання та подачі з допустимими кінематикою верстата:

$$b_6 = s \geq s_{B \min}.$$

$$b_7 = s \leq s_{B \max}$$

$$b_8 = n \geq n_{\text{в min}}$$

$$b_9 = n \leq n_{\text{в max}}$$

Математичною моделлю процесу оброблення різей в задачі оптимізації режимів різання є система нерівностей та рівняння цільової функції t_0 . Для побудови математичної моделі процесу різання та використання з метою визначення оптимальних режимів різання основних положень лінійного програмування необхідно всі нерівності технічних обмежень та рівняння цільової функції перетворити в лінійні форми логарифмуванням.

Після логарифмування нерівності маємо:

$$\ln n + Y_V \ln s \leq \ln \left(\frac{318 \cdot C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot D} \right) \quad (3.35)$$

Вводимо позначення:

$$\ln s = X_1$$

$$\ln n = X_2$$

$$\ln \left(\frac{318 \cdot C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot D} \right) = b_1$$

Підставивши їх в вираз, отримаємо лінійну форму нерівності:

$$X_1 + Y_V X_2 \leq b_1.$$

Перетворив таким шляхом нерівності та рівняння цільової функції, отримаємо систему лінійних нерівностей та лінійну функцію:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_V \cdot x_1 + x_2 \leq b_1 \\ 0,75 \cdot x_1 + 0,85x_2 \leq b_2 \\ 0,75x_1 \leq b_3 \\ 0,75x_1 - 0,15x_2 \leq b_4 \\ 0,75x_1 \leq b_5 \\ x_1 \geq b_6 \\ x_1 \leq b_7 \\ x_2 \geq b_8 \\ x_2 \leq b_9 \\ f_o = (x_1 + x_2) \rightarrow \max \end{array} \right. \quad (3.36)$$

Для реалізації графічного способу, як найбільш ефективного та більш наглядного, нерівності та рівняння математичної моделі відображені прямими лініями в системі координат $n - s$ (рис. 3.19). Розрахунки та побудова моделі

проводились у математичному пакеті MathCAD. На графіку на прямих лініях стрілками вказані по яку сторону кожної прямої знаходяться точки, що відповідають допустимим значенням n та s . Множина точок утворює багатокутник можливих рішень $ABCD$ цієї системи. Граничні прямі AB , BC , CD , DA перетинаючись, утворюють багатокутник, кожна з точок всередині якого задовольняє нерівності всіх граничних прямих системи (3.36), які беруть участь в їх утворенні.

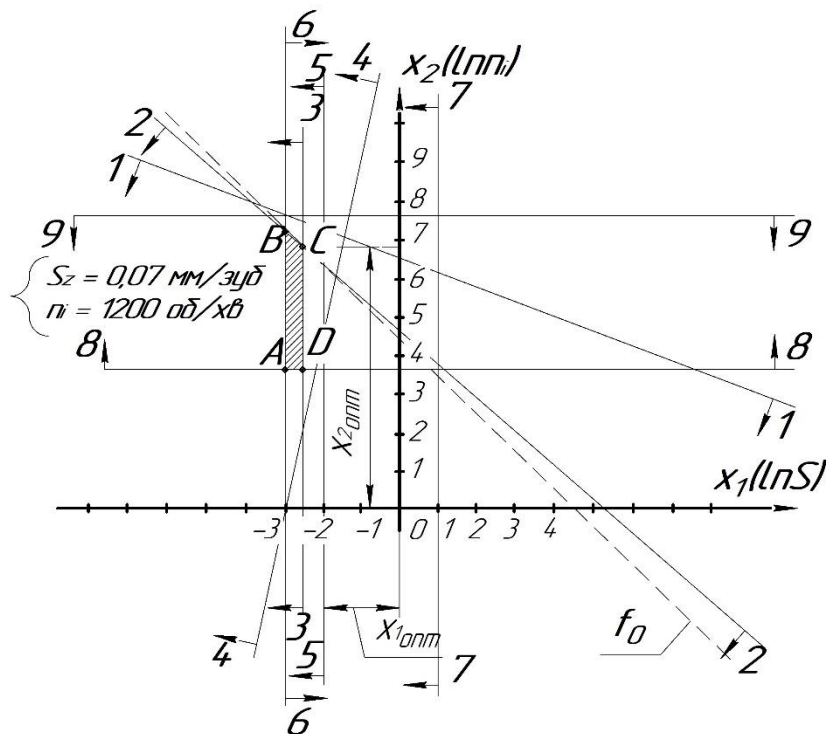


Рис. 3.19 – Схема визначення оптимальних режимів різання для оброблення круглої різі R32 ISO 10208 зі сталі 40X

В багатокутнику $ABCD$ цільова функція f_0 набуває максимального значення в точці C , для якої сума відстаней до осей ($X_1 + X_2$) максимальна. Координати точки C (X_{1onm} , X_{2onm}) є шуканими оптимальними значеннями параметрів, на підставі яких визначаються оптимальні подача s і частота обертання n_i .

Таким чином, для заданих умов оброблення круглої внутрішньої різі були визначені такі оптимальні режими різання: частота обертання $n_{onm} = 1200$ об/хв, подача $S_{zonm} = 0,07$ мм/зуб. Оптимальна швидкість різання при цьому становить

$V_{onm} = 113$ м/хв. Згідно паспортних даних верстата: $s_{x\phi} = 262$ мм/хв, $n_i = 1250$ об/хв, $V = 118$ м/хв.

Аналогічна задача лінійного програмування виконана для оптимізації режимів різання при обробленні метричної і дюймової різей. Оптимальні режими різання: частота обертання $n_{onm} = 1050$ об/хв, подача $S_{zonn} = 0,07$ мм/зуб. Оптимальна швидкість різання при цьому становить $V_{onm} = 148$ м/хв. Згідно паспортних даних верстату: $s_{x\phi} = 210$ мм/хв, $n_i = 1000$ об/хв, $V = 144$ м/хв.

3.6 Розроблення конструкції інструменту для обробки методом огинання

Для експериментальної перевірки можливості обробки внутрішніх різей запропонованим способом за допомогою методу огинання непрофільним інструментом на фрезерних верстатах з ЧПК, а також перевірки результатів математичних залежностей 3.10-3.12 та 3.13-3.15 необхідно виконати обробку різей круглого та трикутного профілів, визначити параметри якості їх обробки та провести оцінку відповідності їх вимогам відповідних стандартів. Для практичної реалізації обрані різі наступних типорозмірів та типорозмірів круга – R32 (рис. 3.21), дюймова – G1½" (рис. 3.22), метрична – M48x3 (рис. 3.23).

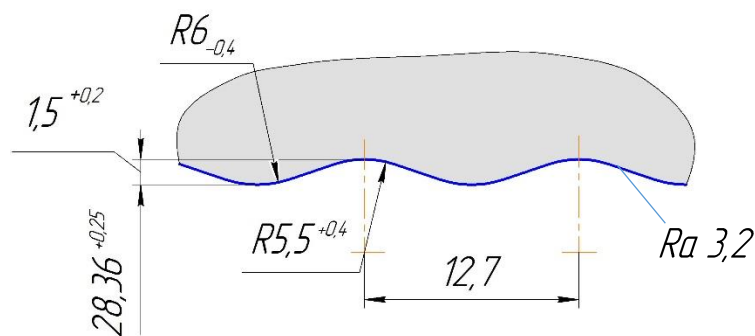


Рис. 3.21 – Профіль круглої різі R32 ISO 10208

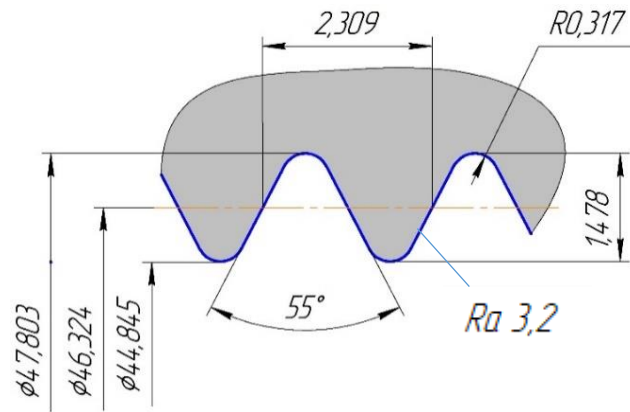


Рис. 3.22 – Профіль дюймової різі G1½"-В ГОСТ 6357-81

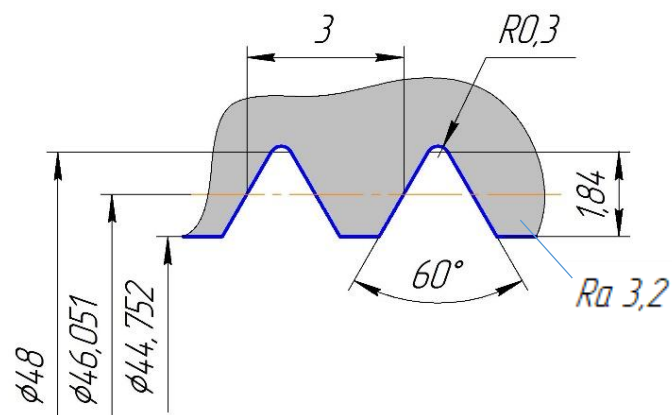


Рис. 3.23 – Профіль метричної різі M48x3-7H ГОСТ 16093-81

Виконаємо проектування різальних інструментів для обробки вищевказаних різей із застосуванням стандартних пластин для токарної обробки. Для реалізації обробки різей із вищевказаними вимогами стосовно класів точності та шорсткості приймаємо однопрохідну обробку, тому для цього обираємо різальні пластини із заднім кутом $\alpha=7^\circ$ для забезпечення наявності заднього кута на інструменті при установленні пластини у гніздо з нульовим значенням переднього кута на інструменті (рис. 3.24). Задній кут $\alpha=7^\circ$ був обраний як найбільш оптимальний із точки зору собівартості різальних пластин (при виключенні із огляду пластин із нульовим заднім кутом) та задоволення умов обробки сталених заготовок.

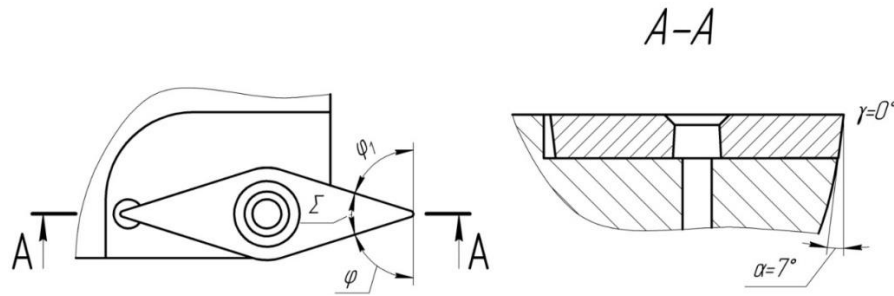


Рис. 3.24 – Схема установалення пластини у гнізді та формування геометричних параметрів інструменту

Виконаємо підбір різальних пластин, попередньо формулюючи критерії їх вибору. Для цього використаємо оптимізаційні підходи та закладемо систему обмежень, що будуть впливати на вибір різальних пластин із номенклатури, що визначена у розділі 2.4. Першим критерієм буде кут при вершині різальної пластини ε , який повинен обов'язково бути меншим за кут профілю різі $\alpha > \varepsilon$. При цьому варто враховувати, що у тих випадках, коли для конкретного типу різі можуть бути застосовані різальні пластини із різними кутами ε , то перевагу потрібно надавати різальним пластинам із більшими кутами при вершині. Ця рекомендація не є обов'язковою для виконання, проте у процесі обробки різей із достатньо великими площами зрізуваного шару металу різальні пластини із більшим значенням кута при вершині ε краще поглинають кількість теплоти та сприймають підвищені сили різання, що неминуче виникають при обробці із вищевказаними умовами. Це твердження підкріплюється областю застосування конкретного типу різальних пластин, наприклад пластини з $\varepsilon=80^\circ$ використовують для чорнової та напівчистої стадій обробки, а пластини з $\varepsilon=35^\circ$ на чистовій стадії згідно рекомендацій каталогів фірм виробників різального інструменту.

Другим критерієм є вибір різальної пластини із величиною радіуса при вершині r_ϕ , що менше за величину радіуса западини профілю різі R (рис. 3.16).

Цей критерій відповідає за досягнення відповідної геометрії профілю оброблюваної різі згідно стандартів. При цьому варто враховувати, що у тих випадках, коли для конкретного типу різі можуть бути застосовані різальні

пластини із різними радіусами при вершині r_ϵ , то перевагу потрібно надавати різальним пластинам із більшими значеннями радіуса при вершині. Ця рекомендація, як і стосовно кута при вершині не є обов'язковою для виконання, проте в умовах обробки із великим виділенням теплоти процес зношування різальних пластин із малими значеннями радіуса при вершині ($r_\epsilon=0,2\dots0,4$ мм) вище ніж у пластин із достатньо великими значеннями радіуса при вершині ($r_\epsilon\geq0,8$ мм). Також у пластин із малими значеннями r_ϵ підвищена схильність до сколювання при виникненні вібрацій у процесі механічної обробки. Процес зношування по задній поверхні у різальних пластин із малими значеннями r_ϵ також підвищений у порівнянні із пластинами, де $r_\epsilon\geq0,8$ мм виходячи із меншої площі інструментального матеріалу, який контактує із оброблюваною заготовкою. Через зменшену площу контакту питома доля навантаження у різальних пластин з $r_\epsilon=0,2\dots0,4$ мм вище ніж у пластин з $r_\epsilon\geq0,8$ мм. Проте у цьому аспекті при мінімальному значенні r_ϵ сили різання зменшуються, що впливає на зниження температури та як наслідок зношування, тому для обробки різей із невеликими площами зрізу та для отримання поверхні високої якості рекомендовано обирати різальні пластини із мінімальними значеннями r_ϵ , а також ці пластини повинні бути виготовлені із інструментального матеріалу високої твердості (наприклад тверді сплави аналогу Т30К4 для обробки сталей та ВК3 для обробки чавунів). Вищевказані твердження підкріплюється областю застосування різальних пластин із відповідними значеннями r_ϵ , наприклад пластини з $r_\epsilon\geq0,8$ мм використовують для чорнової та напівчистої стадій обробки, а пластини з $r_\epsilon=0,2\dots0,4$ мм на чистовій стадії згідно рекомендацій каталогів фірм виробників різального інструменту.

Третім критерієм вибору різальних пластин є їх вартість, яка частково залежить від перших двох критеріїв, а також інструментального матеріалу, класу точності різальної пластини, фірми-виробника і т.д. Тому виходячи із вищевказаного необхідно обирати пластини із мінімальною собівартістю в залежності від конкретних умов обробки, обсягу партії, але при цьому різальні пластини мають повністю відповідати двом критеріям, що описані вище.

Таким чином можна сформулювати систему обмежень при виборі різальних пластин для непрофільного інструменту наступним чином:

$$\begin{cases} \alpha > \varepsilon \rightarrow \max \\ R > r_B \rightarrow \max \\ C \rightarrow \min \end{cases} \quad (3.37)$$

Тому виходячи із вищесказаного та умови 3.37 були обрані пластини:

- для круглої різі R32 – CCMT 06 02 04 ($\varepsilon=80^\circ$; $r_\varepsilon=0,8$ мм);
- для метричної різі M48x3 – DCMT 11 03 02 ($\varepsilon=55^\circ$; $r_\varepsilon=0,2$ мм);
- для дюймової різі G1½" – VCMT 11 03 04 ($\varepsilon=35^\circ$; $r_\varepsilon=0,4$ мм).

Визначення діаметрів різальних інструментів для обробки вищевказаних різей виконувалось за формулами 3.12-3.14:

- для круглої різі R32: $D_i = 30,06$ мм;
- для метричної різі M48x3: $D_i = 46,44$ мм;
- для дюймової різі G1½": $D_i = 46,36$ мм.

Наступним етапом підготовки до експериментальних досліджень стало проектування різальних інструментів для обробки вищевказаних різей. Для виконання робочих креслень були розроблені 3D-моделі різальних пластин, які послужили для створення місць під пластини та формування їх на корпусі непрофільного різального інструменту. Таким чином спроектовані різальні інструменти для обробки круглої, метричної та дюймової різей (рис. 3.25).

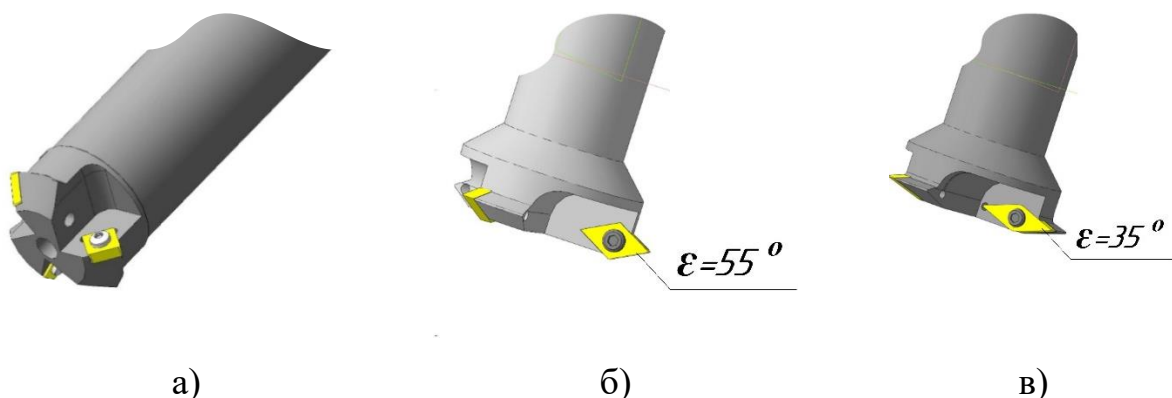


Рис. 3.25 – Конструкції непрофільних різальних інструментів для обробки внутрішніх різей: а) – круглої R32; б) – метричної M48x3; в) – дюймової G1½"

Таким чином розроблені конструкції непрофільних різальних інструментів для обробки внутрішніх різей за методом огинання, проте для перевірки можливості досягнення точності обробки різей з позиції забезпечення достатньої жорсткості та уникнення явища резонансу перед виготовленням дослідних зразків різальних інструментів необхідно виконати їх чисельне моделювання.

3.7 Чисельне моделювання конструкції різального інструменту

Для запобігання виникнення явища резонансу в процесі механічного оброблення необхідно, щоб частота власних коливань інструмента не співпадала з частотою процесу різання. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є призначення інших режимів різання, а інший шлях це зміна конструктивних параметрів інструменту.

Для цього за допомогою вбудованого модуля у програмному комплексі ANSYS визначаються частоти власних коливань інструмента та порівнюються з частотами, що виникають у процесі механічної обробки. Граничними умовами розрахункової моделі є: матеріал різальної пластини – твердий сплав Т5К10, матеріал корпусу – сталь 40Х, схема закріплення – абсолютно жорстко. Механічні властивості матеріалів представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Механічні властивості матеріалів непрофільних інструментів

Матеріал	Модуль пружності E , ГПа	Коефіцієнт Пуассона μ	Густина ρ , кг/м ³	Границя міцності при	Границя міцності при стисненні $[\sigma_{сж}]$, ГПа	Границя текучості σ_T , ГПа
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	200	0,3	7850	0,980	0,980	0,785
Твердий сплав Т5К10	600	0,21	12000	-	4,50	-

Першим етапом при вирішенні вищевказаних задач було розроблення скінченноелементних розрахункових моделей непрофільних різальних інструментів для обробки круглої різі R32 та різей трикутного профілю M48x3 та G1½". Кінематичні та силові граничні умови моделі досліджуваних конструкцій відповідають реальним схемам навантаження та задавалися жорстким закріпленням по верхній частині хвостовика, що еквівалентно встановленню інструмента у оправці верстата.

Після задання граничних умов були визначені частоти власних коливань непрофільних різальних інструментів та порівняні з частотами, що виникають у процесі механічної обробки (табл. 3.2). Результати цього аналізу за необхідності дозволяють відлаштуватися від резонансу. Приклади форм власних коливань при обробці досліджуваних різей представлені на рис. 3.21.

Таблиця 3.2

Порівняльна таблиця власних частот, які виникають у процесі механічної обробки та частоти процесу різання

Різальний інструмент для обробки різі	1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота процесу різання, Гц
Круглої R32	2213	2456	8110	63
Метричної M48x3	1537	1812	6107	50
Дюймової G1½"	1537	1812	6107	50

Із табл. 3.2 видно, що для досліджуваних конструкцій різальних інструментів резонансу не виникає, оскільки перша критична частота власних їх коливань вища за максимальну частоту процесу різання при роботі з рекомендованими швидкостями різання для обраних різальних пластин конкретних умов механічної обробки.

Результати модального аналізу дозволяють висунути гіпотезу, що конструкції розроблених різальних інструментів матимуть достатню динамічну

жорсткість для проведення механічної обробки без виникнення явища резонансу.

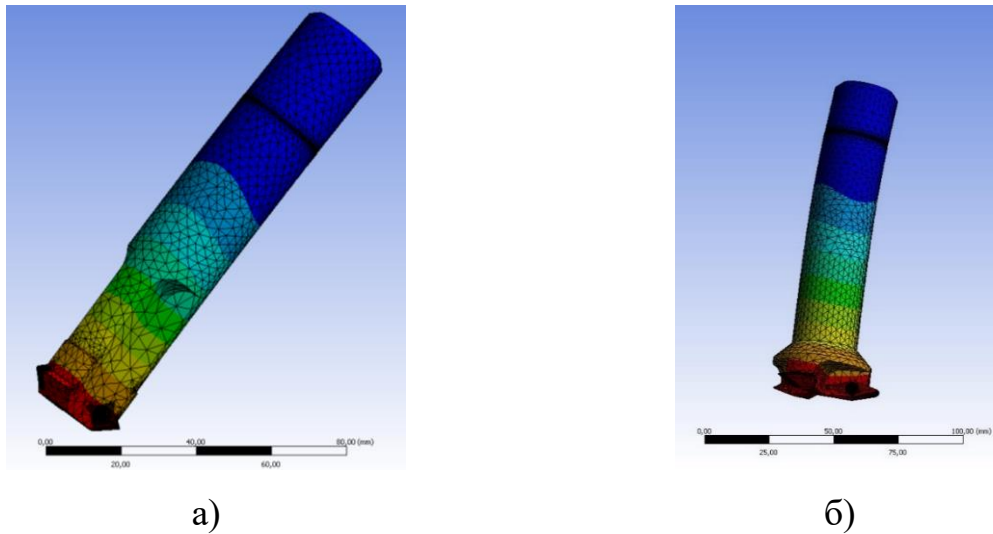


Рис. 3.26 – Приклади форм частот власних коливань спроектованих непрофільних різальних інструментів для обробки різей: а) круглої R32; б) метричної M48x3 та дюймової G1½"

3.8 Висновки

У даному розділі виконано аналіз профілю найбільш розповсюджених типів різей у поперечному перерізі. Виявлено залежність максимального відхилення профілю від діаметра і кроку різі, що дозволило визначити області можливого використання запропонованого способу обробки непрофільним інструментом для конкретних типорозмірів різей. Також встановлено, що крок різі чинить більший вплив на максимальне відхилення на відміну від діаметра, який практично не впливає на останнє.

Розроблено математичні залежності діаметра непрофільного інструменту і діаметра спіральної траєкторії його руху в залежності від параметрів різі. Це дозволяє виконувати розрахунки вищевказаних параметрів для круглих, дюймових та метричних різей, знаючи лише їх діаметр і крок.

Розроблено конструкції непрофільних різальних інструментів для обробки круглої, метричної та дюймової різей із застосуванням стандартних різальних пластин, що використовуються при токарній обробці. При цьому

запропоновано методику їх вибору із урахуванням особливостей виробничого процесу, виражених системою обмежень.

За результатами модального аналізу конструкцій непрофільних інструментів для оброблення різей круглого та трикутного профілів встановлено, що частоти власних коливань інструментів не співпадають із частотами процесу різання, отже резонансу під час обробки не виникне.

Результати досліджень даного розділу наведено в публікаціях:

Нешта А.А. Область применения метода обработки внутренней резьбы мерным инструментом / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Вісник НТУ ХП. – 2015. – № 4. – С. 145–149.

Нешта А.А. Особенности обработки различных типов внутренних резьб мерным инструментом / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Журнал инженерных наук. – 2016. № 2. – С. 20–24.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ РІЗЕЙ МЕТОДОМ ОГИНАННЯ

4.1 Практична реалізація способу оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання

Спосіб оброблення внутрішніх різей реалізований для круглих внутрішніх різей, на який отримано патент України на винахід [88].

Обробка круглої внутрішньої різі непрофільним інструментом відбувається за один прохід, при цьому різальному інструменту надають прямолінійний рух уздовж осі заготовки. Різальні пластини рівномірно розподілені по периферії інструменту. Пластини встановлені таким чином, що головний та допоміжний кути в плані на інструменті дорівнюють одне одному, а кут при вершині рівний $35^{\circ} \div 90^{\circ}$. Інструменту надають обертальний рух навколо власної осі Dr , а також додатково повідомляють коловий рух інструменту навколо осі заготовки, що узгоджений з прямолінійним рухом інструменту таким чином, що за один коловий рух, йому надають прямолінійний рух Ds уздовж осі заготовки, величина якого дорівнює кроку p різі (рис. 4.1). Крім того вісь заготовки розташовують паралельно у відношенні до осі обертання інструменту.

Використання запропонованого непрофільного інструменту з рівномірно розподіленими по його периферії різальними пластинами дозволяє рівномірно розподілити навантаження на різальні кромки при зніманні всього припуску і знизити вплив сили різання на кожну пластину, що і забезпечує підвищення вібростійкості процесу обробки різі і зниження інтенсивності зношування різальних кромки різального інструмента, що належить перевірити експериментально безпосередньо під час обробки. Підвищення вібростійкості процесу обробки різі, в свою чергу, забезпечує високу якість круглої різі. Використання різальних пластин з кутом ϵ при вершині рівним $35^{\circ} \div 90^{\circ}$ створює

необхідні умови різання для отримання заданого профілю круглої різі. Використання різальних пластин з кутом ε при вершині менше 35° значно знижує їх міцність, а використання різальних пластин з кутом ε при вершині більше 90° призведе до перетину різальною кромкою профілю круглої різі. Паралельність осі заготовки та осі обертання непрофільного інструменту забезпечує співвісність оброблюваної різі та заготовки.

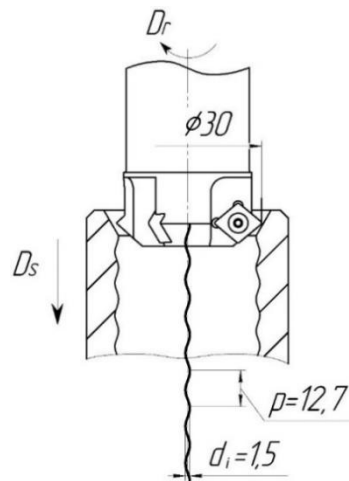


Рис. 4.1 – Схема оброблення круглої внутрішньої різі непрофільним інструментом

Кількість різальних пластин залежить від діаметра інструмента і конструкції місць для сходу стружки. Вершини різальних пластин радіально віддалені від осі інструменту на однакові відстані. При обробці круглої різі R32 непрофільний інструмент (рис. 4.2) оснащений трьома різальними пластинами 2, що кріпляться до корпусу 1 за допомогою гвинтів 3. При цьому різальні пластини зміщеними одна відносно одної на кут 120° навколо осі інструменту.

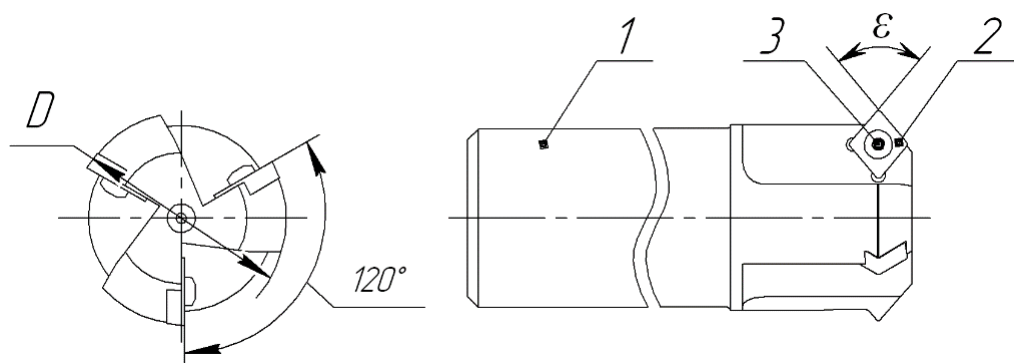


Рис. 4.2 – Конструкція непрофільного інструмента

4.2 Моделювання процесу оброблення внутрішніх різей методом огинання

У якості підготовки до виконання натурного експерименту із здійснення обробки вищерозглянутих різей було виконано проміжний етап перевірки можливості отримання необхідних параметрів профілю різей, що розглядались у попередньому підрозділі.

Цей етап передбачав здійснення моделювання процесу обробки внутрішніх різей методом огинання у програмному пакеті PowerMill. Для цього за допомогою програмного пакету КОМПАС 3D були виконані 3D-моделі непрофільних різальних інструментів. Даний процес необхідний для можливості здійснення операції «вирізання» контуром інструмента, що рухається по заданій траєкторії, профілю деталі.



Рис. 4.3 – Модель непрофільного різального інструмента у PowerMill

Розрахунок діаметрів гвинтової траєкторії руху різальних інструментів для обробки вищевказаних різей виконувався за формулами 3.10-3.12, а крок p_{cn} гвинтової траєкторії радіусом r відповідає кроку p оброблюваної різі:

- для круглої різі R32: $D_i = 30,06$ мм; $r = 0,85$ мм; $p_{cn} = 1,5$ мм;
- для метричної різі M48x3: $D_i = 46,44$ мм; $r = 0,88$ мм; $p_{cn} = 3$ мм;
- для дюймової різі G1½": $D_i = 46,36$ мм; $r = 0,76$ мм; $p_{cn} = 2,309$ мм;

Таким чином у результаті задання необхідних параметрів траєкторії та інструменту виконано моделювання процесу обробки внутрішніх різей (рис. 4.4), у результаті якого отримані наступні моделі профілів (рис. 4.5).

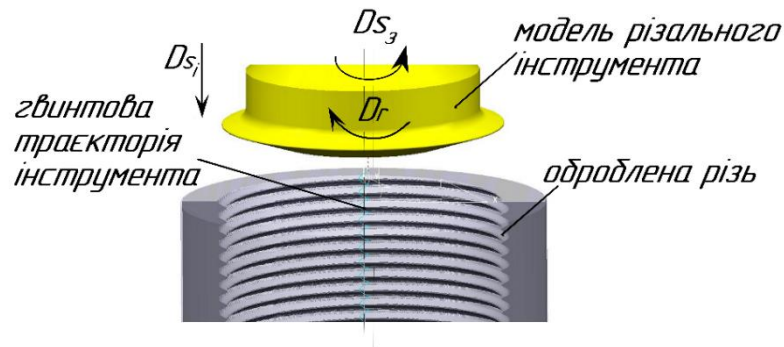


Рис. 4.4 – Процес здійснення моделювання обробки внутрішніх різей у PowerMill

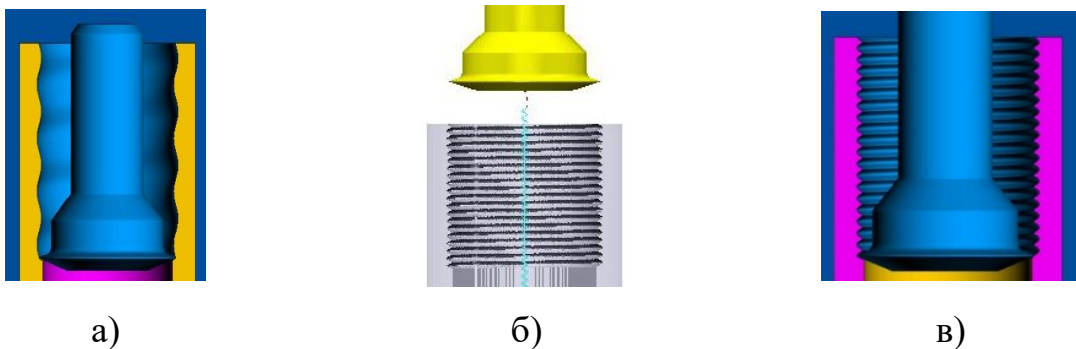


Рис. 4.5 – Отримані моделі обробки у PowerMill внутрішніх різей: а) круглої R32; б) метричної M48x3; в) дюймової G1 1/2"

Моделі після обробки були перенесені у КОМПАС 3D, де за допомогою відповідних команд отримані їх нормальні осьові перетини (рис. 4.6), які необхідні для здійснення процесу контролю параметрів профілю різей та їх розмірів.

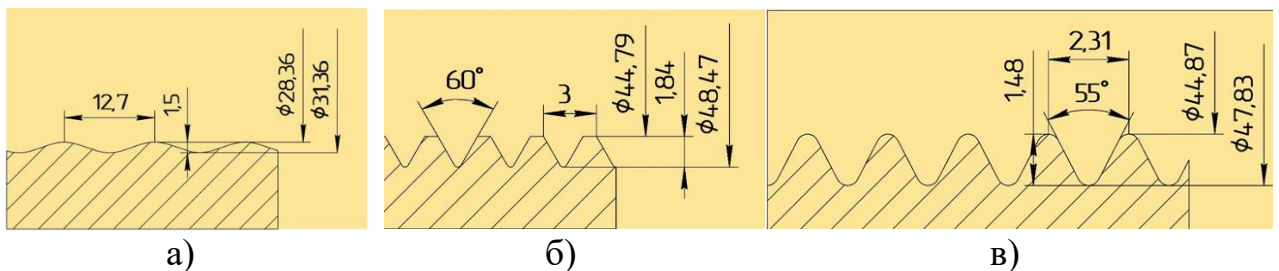


Рис. 4.6 – Осьові перерізи різей: а) круглої R32; б) метричної M48x3; в) дюймової G1 1/2"

Результати контролю параметрів профілю різей в осьовому перерізі (табл. 4.1) показав відповідність розмірам у стандартах з урахуванням допусків на відповідні параметри, при цьому зарізів та інших дефектів обробки виявлено не було.

Таблиця 4.1

**Параметри профілю різей в осьовому перерізі після моделювання
обробки у PowerMill**

Тип різі	Кругла різь R32 ISO 10208				
Параметр	D , мм	D_I , мм	H_I , мм	p , мм	α , °
згідно ГОСТ	31,36	28,36	1,5	12,7	141
Отриманий	31,36	28,36	1,5	12,7	141
Тип різі	Метрична різь М48х3 ГОСТ 16093-81				
згідно ГОСТ	48	44,75	1,84	3	60
Отриманий	48,47	44,79	1,84	3	60
Тип різі	Дюймова різь G1½" ГОСТ 6357-81				
згідно ГОСТ	47,80	44,84	1,47	2,309	55
Отриманий	47,83	44,87	1,48	2,31	55

4.3 Експериментальні дослідження оброблення внутрішніх різей

Наступним етапом дисертаційного дослідження було виготовлення конструкцій непрофільних різальних інструментів для обробки розглянутих різей. Для обробки круглої різі R32 було виготовлено непрофільний різальний інструмент згідно розрахунків, виконаних у підрозділі 3.4. Проте для зменшення собівартості експериментальних досліджень з обробки різей трикутного профілю (метричної М48х3 та дюймової G1½") було виготовлено один інструмент для обробки двох типів різей, так як їх розрахункові діаметри

близькі за значеннями $\varnothing 46,44$ мм та $\varnothing 46,36$ мм відповідно. Різниця у діаметрах скомпенсована збільшенням розрахункового діаметра спіральної траєкторії руху інструменту.

Для даних різей обрано однакові різальні пластини. У даному випадку величина радіуса при вершині $r_e=0,2$ мм була лімітована радіусом западини метричної різі M48x3, що складає $R=0,3$ мм, а кут при вершині лімітований обробкою дюймової різі $G1\frac{1}{2}''$, де необхідно застосовувати різальні пластини виключно з кутом при вершині $\varepsilon=35^\circ$ для виконання першої умови з обмежень (рис. 2.10). Таким чином за розрахунковими значеннями діаметрів непрофільних різальних інструментів для обробки круглої різі R32 та різей трикутного профілю (M48x3 та $G1\frac{1}{2}''$) розроблені 3D-моделі відповідних інструментів, на основі яких виконані робочі креслення (додаток А).

Наступним етапом є вплив технологічних факторів на показники якості різей та визначення оптимальних режимів обробки різей із круглим та трикутним профілями.

4.3.1 Вплив технологічних факторів на показники якості різей з круглим профілем

У якості експериментального стенду для виконання досліджень з обробки внутрішніх різей методом огинання було обрано вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 6P13Ф3, що оснащений системою ЧПК WL4M, з наступними технічними характеристиками (табл. 4.2).

Для можливості доступу до обробки внутрішньої різьової поверхні без ризику зіткнень рухомих елементів верстата, верстатного пристрою та заготовки остання установлювалась у трикулачковому патроні 7100-0032 ГОСТ 2675-80 (рис. 4.7), що був закріплений на столі за допомогою прихватів. Варто відмітити, що при встановленні заготовки у патрон відбувалась його попередня вивірка щодо осі обертання шпинделя, та для досягнення співвісності кулачків патрона з віссю шпинделя застосовувалось усунення

похибок биття кулачків, шляхом їх оброблення у закріпленому патроні на столі верстата. При цьому для закріплення заготовок були використані кулачки зі «сходинкою» для створення опорної бази на торці деталі, що дає можливість отримувати постійне осьове положення останніх без виконання етапу переприв'язки для кожної наступної деталі із виробничої партії.

Таблиця 4.2

Технічна характеристика верстата моделі 6P13ФЗ

Параметр	Величина
Розміри робочої поверхні столу, мм:	
- ширина	400
- довжина	1600
Найбільше переміщення стола/шпинделя:	
- по осі X, мм	800
- по осі Y, мм	300
- по осі Z, мм	300
Частота обертання шпинделя, об/хв	31,5 – 2000
Подача стола/шпинделя:	
- по осям X, Y, Z, мм/хв	б/с
Внутрішній конус шпинделя	ISO 50 7:24
Потужність приводу головного руху, кВт	7,5

Непрофільний різальний інструмент при цьому встановлювався в оправку типу Weldon з діаметром приєднувальної частини Ø25 мм. Оправка типу Weldon була вибрана як альтернатива цанговій оправці через необхідність передачі крутного моменту значної величини, що виникатиме при обробці різей. Відомо, що оправки типу Weldon і схильні до установа інструментів із певною величиною радіального биття через одностороннє притискання

інструменту до стінок оправки на відміну від цангових оправок, де відбувається рівномірний затиск інструменту по всій циліндричній поверхні і його центрування за віссю оправки. Проте перед виконанням обробки було визначено величину радіального биття контрольної поверхні, що була передбачена в конструкції непрофільних інструментів, яка складає 0,006 мм, що є досить малою величиною у порівнянні із допуском на обробку круглої різі, що складає 0,4 мм на діаметр.



Рис. 4.7 – Схема експериментальної установки для обробки внутрішньої круглої різі R32

У якості заготовок для експериментальної перевірки і обробки виробничої партії була обрана деталь «Корпус бурової коронки», що містить круглу внутрішню різь R32 (рис. 4.8). Матеріал оброблюваних деталей – сталь марки 5ХНМ ГОСТ 4543-88.

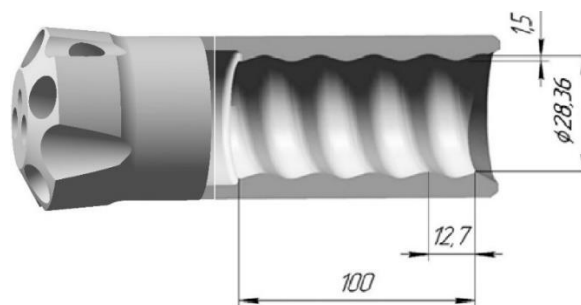


Рис. 4.8 – Корпус бурової коронки з різьбовою частиною R32 ISO 10208

Оскільки матеріал заготовок – легована сталь, то для зменшення температури різання та підвищення періоду стійкості різальних пластин застосовувались змащувально-охолоджуючі рідини (ЗОР) типу УКРИНОЛ - 1.

При обробленні партії деталей із круглою різью R32 шорсткість поверхні, якої за вимогами креслення не повинна перевищувати Ra 3,2 мкм.

Найбільш ефективним режимом різання, як з точки зору сприятливості умов різання, так і з точки зору продуктивності виявився режим зі швидкістю $V = 118$ м/хв, що відповідає $n = 1250$ об/хв і величиною хвилинної подачі $s_{xв} = 250$ мм/хв.

Жорсткість технологічної системи в даному випадку лімітована жорсткістю верстата, так як при максимальних частотах обертання зазори в рухомих з'єднаннях збільшуються, що призводить до виникнення вібрацій.

Виходячи з результатів експериментального дослідження попередньо був встановлений режим різання при обробці круглої різі для конкретних виробничих умов, при яких забезпечується необхідна шорсткість поверхні (Ra 3,2 мкм), відсутність вібрацій і максимальна продуктивність, а саме швидкість різання $V = 118$ м/хв і хвилинна подача $s_{xв} = 250$ мм/хв.

4.3.2 Дослідження показників якості внутрішніх різей з круглим профілем

Виходячи із отриманих результатів визначення шорсткості круглої різі R32 за допомогою візуального контролю та порівняння зі зразками шорсткості у ході дослідження був здійснений контроль шорсткості за допомогою профілометра моделі 283. Для даної різі такий метод контролю є можливим, на основі аналізу, описаного у підрозділі 2.6.

Обсяг виробничої партії складав 100 деталей. Також окрім шорсткості різі виконувався контроль дійсного значення зовнішнього діаметра різі за допомогою спеціально розробленого вимірювального стенда на основі

нутроміра з індикатором годинникового типу (рис. 4.9). Додатковий контроль виконувався різьбовим калібром R32 для круглої різі.

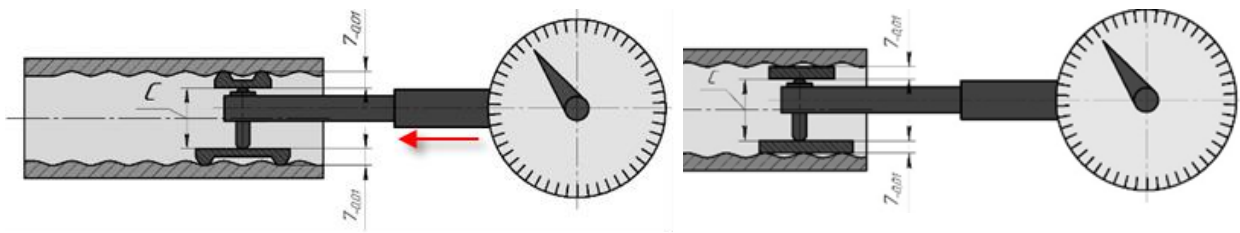


Рис. 4.9 – Вимірювальний стенд для контролю дійсного значення зовнішнього та внутрішнього діаметра круглої різі

Розроблений вимірювальний стенд складається із базуючих елементів 1, 2 та нутроміра 3 з індикатором годинникового типу моделі ІЧ-10 ГОСТ 577 – 68. Базуючий елемент виконаний у вигляді скоб, аналогічних як і вставки у мікрометрі для контролю зовнішніх різей. Таким чином для визначення зовнішнього діаметра різі розмір C , необхідно до номінального розміру, на який виконувалось попереднє налагодження нутроміра за допомогою мікрометра, як і при вимірюванні циліндричних отворів, додати показання відхилення стрілки індикатора в абсолютній величині та додати дві товщини базуючих елементів, тобто 14 мм загально. Результати вимірювання значень зовнішнього діаметра круглої різі представлені на рис. 4.10, внутрішнього діаметра – на рис. 4.11.

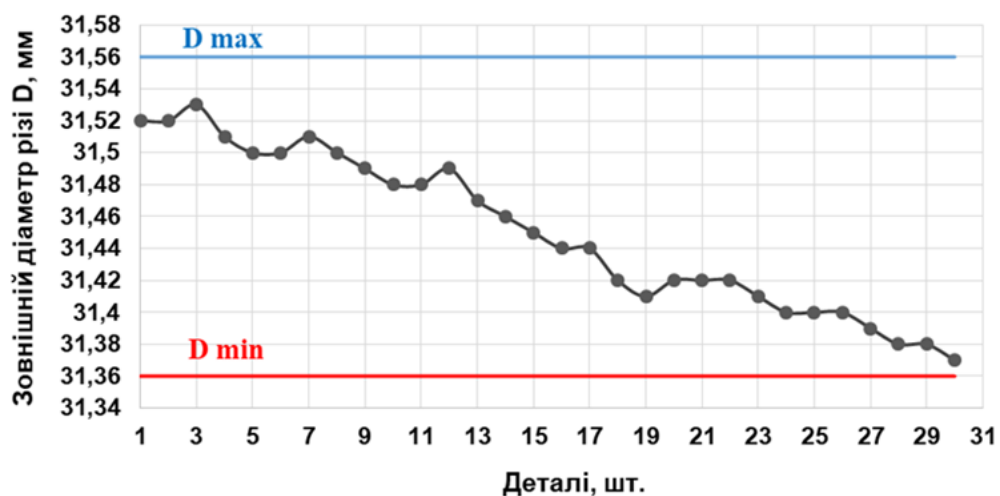


Рис. 4.10 – Результати контролю зовнішнього діаметра круглої різі R32

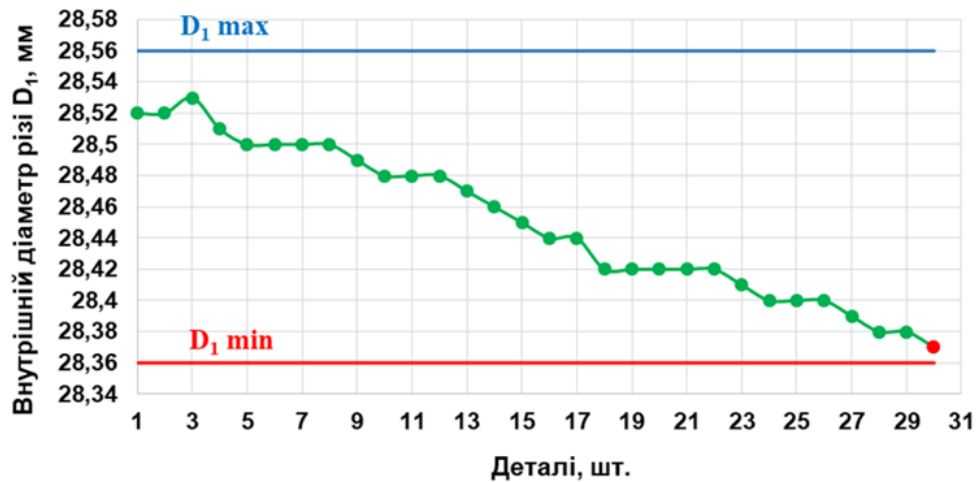


Рис. 4.11 – Результати контролю внутрішнього діаметра круглої різі R32

Результати вимірювання параметрів круглої різі на інструментальному мікроскопі наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Результати вимірювання параметрів круглої різі R32 ISO 10208

Параметр	Висота профілю H_1 , мм	Крок p , мм	R_1 , мм	R_2 , мм
згідно ISO	1,5	12,7	$5,5^{+0,4}$	$6,0_{-0,4}$
Отриманий	1,5	12,7	5,7	5,7

Результати шорсткості поверхні круглих різей партії деталей із 60 штук представлені на рис. 4.12. При цьому результати контролю шорсткості оброблених поверхонь різей представлені у вигляді статистичного розподілу з діапазоном (кроком) 0,2 мкм.

Також при виконанні даних досліджень з обробки круглої різі виявилась можливість компенсації розмірного зношування різальних пластин

непрофільного інструменту шляхом збільшення діаметра траєкторії руху інструменту на подвійну величину зношування пластин по задній поверхні, що наглядно проілюстровано на рис. 4.13.

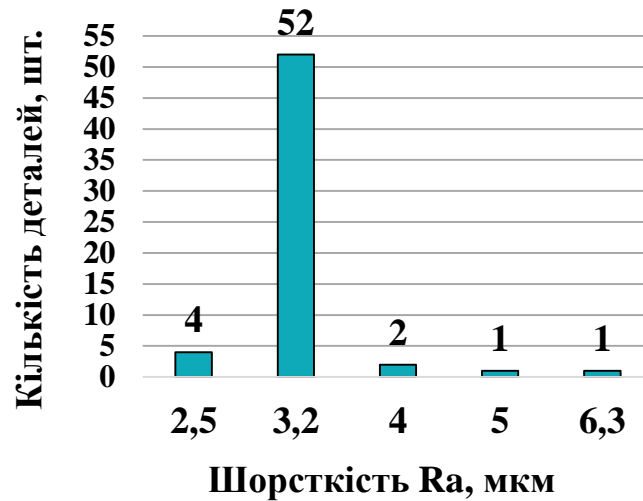


Рис. 4.12 – Шорсткість оброблених деталей за шорсткістю поверхні круглої різі R32

Таким чином, отримані дані по кількості деталей, що були оброблені одним комплектом різальних пластин при постійних значеннях режиму обробки, сформовані рекомендації із оброблення корпусів бурових коронок зі сталі 5ХНМ ГОСТ 4543-88 [109]:

1. Застосовувати оброблення непрофільним інструментом при партії деталей більше 50 шт.

2. При обробленні круглої різі R32 згідно ISO 10208 довжиною 65 мм рекомендовано використовувати непрофільний інструмент з пластинами CCMT 060204 у кількості 3 шт.

3. Виконувати оброблення заготовок зі сталі 5ХНМ з режимом різання $t=1,5$ мм; $i=1$; $s_o = 0,2$ мм/об; $s_{xe} = 250$ мм/хв; $V = 120$ м/хв.

4. Ввести корекцію в керуючу програму на збільшення діаметра спіральної траєкторії до 1,8 мм на 30-ї деталі та збільшення діаметра спіральної траєкторії до 1,9 мм на 43-й деталі.

5. Здійснити заміну пластин на нові після обробки 48-ї деталі та повернути значення діаметра спіральної траєкторії до значення 1,7 мм.

6. Використання подач в діапазоні 0,15...0,25 мм/об та швидкостей різання

100...135 м/хв дозволяє забезпечити виготовлення різі R32 з допуском 0,4 мм та шорсткість у межах $Ra\ 2,5 \div 3,2$ мкм, що задовольняє умовам креслення.

7. Ресурс різальних пластин та режим оброблення різей у деталях із матеріалів відмінних від вказаного мають бути визначені експериментально.

Ресурс різальних пластин та режим обробки різей інших типорозмірів у деталях із матеріалів відмінних від вказаного мають бути визначені експериментально із умови досягнення величини зношування по задній поверхні у вертикальній площині не більше 0,3 мм.

4.3.3 Вплив технологічних факторів на показники якості різей із трикутним профілем

В якості експериментального стенду для виконання досліджень з обробки внутрішніх різей із трикутним профілем (метричної M48x3 та дюймової G1½") також як і у експериментах із обробки круглої різі R32 було використано вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 6P13Ф3 із технічними характеристиками, що описані у табл. 4.2. У якості деталей, що були обрані для експерименту, прийнято деталі «Муфта з'єднувальна» та «Гайка кругла» (рис. 4.13). Матеріал оброблюваних деталей – сталь марки 40Х ГОСТ 4543-88.

Закріплення деталей виконувалось за аналогічною схемою базування у трикулачковому патроні 7100-0032 ГОСТ 2675-80 (рис. 4.14), як і при обробці корпусів бурових коронок. Вивірка щодо осі обертання шпинделя виконувалась аналогічно попередньому експерименту.

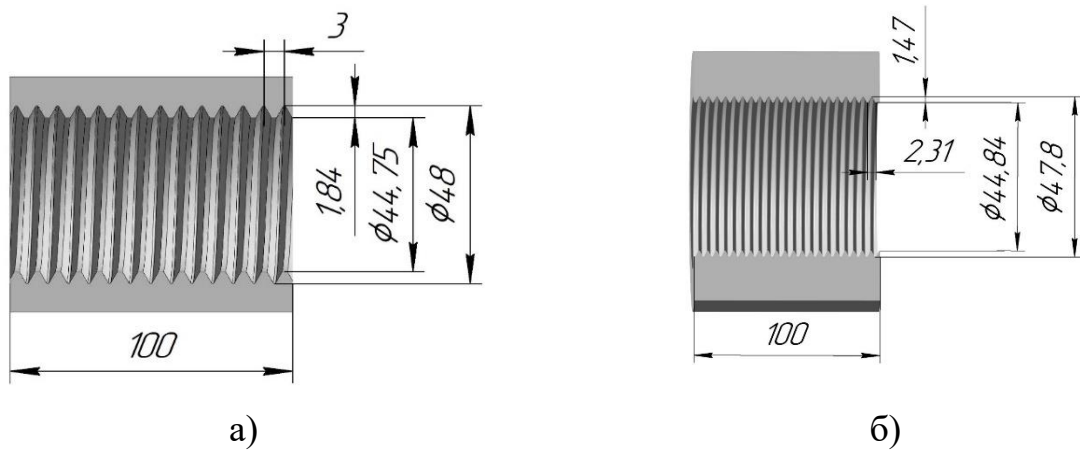


Рис. 4.13 – Різьова частина: а) муфти з'єднувальної; б) гайки круглої

Непрофільний різальний інструмент при цьому встановлювався в оправку типу Weldon з діаметром приєднувальної частини $\varnothing 25$ мм, аналогічно інструменту для обробки круглої різі R32. Перед виконанням обробки було визначено величину радіального биття контрольної поверхні, що була передбачена в конструкції непрофільних інструментів, яка складає 0,005 мм для, що є досить малою величиною у порівнянні із допуском на середній діаметр метричної різі M48x3, що складає 0,265 мм на діаметр, та допуском на середній діаметр дюймової різі G1½" 0,18 мм.



Рис. 4.14 – Схема експериментальної установки для обробки внутрішніх різей із трикутним профілем (M48x3 та G1½")

Оскільки матеріал заготовок легована сталь, то для зменшення температури різання та підвищення періоду стійкості різальних пластин застосовувались змащувально-охолоджуючі рідини (ЗОР) типу УКРИНОЛ - 1.

Аналогічно попереднім експериментальним дослідженням визначимо вплив технологічних факторів на показники якості різей трикутного профілю, а саме на шорсткість поверхні, яка за вимогами креслення не повинна перевищувати $Ra\ 3,2$ мм. До технологічних факторів які варіювались у експерименті відносяться: швидкість різання V та хвилинна подача $s_{xв}$.

Початкові режими обробки були задані виходячи із рекомендацій виробників різальних пластин. Так як регламентована каталогами швидкість різання $V = 210...230$ м/хв відповідає періоду стійкості пластин близько 15 хвилин, то було прийнято рішення знизити швидкість у 2 рази до величини $V = 110$ м/хв, що при діаметрі різального інструменту $Di = 46,44$ мм відповідає частоті обертання $n = 834$ об/хв. Так як на верстаті 6Р13Ф3 регулювання частот обертання ступінчасте, то прийняте ближче значення $n = 800$ об/хв. При цьому швидкість різання $V = 107$ м/хв, що знаходиться в межах, допустимих для вибраних різальних пластин. Початкове значення подачі на зуб було прийняте $s_z = 0,05$ мм/зуб згідно рекомендацій каталогу фірми виробника при глибині різання до 2 мм. Таким чином при кількості різальних пластин $n_{re} = 3$ подача на оберт складає $s_o = 0,15$ мм/об, а хвилинна подача відповідно $s_{xв} = 120$ мм/хв.

Після встановлення відповідних режимів спочатку виконувалась обробка внутрішніх різей на партії деталей «Муфта з'єднувальна» з метричною різзю М48х3, а потім деталі «Гайка кругла», а контроль шорсткості їх поверхонь проводився за допомогою зразків шорсткості для точіння.

Технологічні фактори, а саме швидкість різання V та величина хвилинної подачі $S_{xв}$ варіювались у діапазонах $V = 68...167$ м/хв та $s_{xв} = 100...250$ мм/хв. При цьому після кожної зміни хоча одного із параметрів виконувалось вимірювання шорсткості поверхні обробленої різі відповідно.

У результаті експерименту із впливу технологічних факторів на шорсткість поверхні метричної та дюймової різей на 50 деталях в партіях

кожного із типів різей становила $Ra\ 3,2\div6,3$ мкм (рис. 4.15), що візуально оцінювались за зразками шорсткості для сталі (токарна обробка). При цьому було встановлено, що зменшення хвилинної подачі $S_{xв}$ нижче значення 150 мм/хв, при частотах обертання різального інструменту $n = 800, 1000$ та 1250 об/хв, призводить до погіршення якості поверхні різі до $Ra\ 5,0$ мкм. Це явище може бути пояснено вібраціями, які виникають в результаті поєднання високої частоти обертання і несприятливих умов різання.

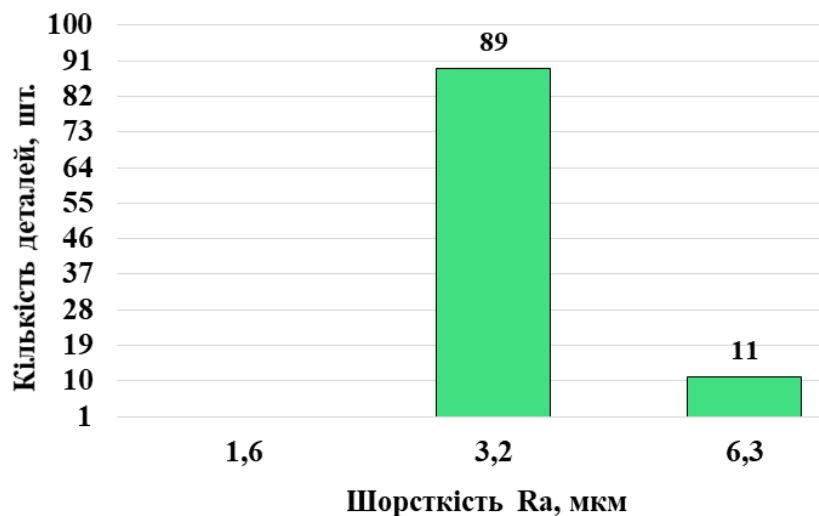


Рис. 4.15 – Шорсткість різьбових поверхонь деталей «Муфта з'єднувальна» та «Гайка кругла»

У діапазонах частот обертання різального інструменту $n = 500$ і 630 об/хв і величинах хвилинної подачі $s_{xв} = 100\ldots150$ мм/хв площа перетину зрізу знаходиться в оптимальних межах, як на вершинах так і в западинах різі, що дозволило уникнути вібрацій і отримати шорсткість поверхні $Ra\ 1,6\div3,2$ мкм. Але при цьому швидкість різання $V = 68\ldots85$ м/хв, що нижче мінімального рекомендованого значення виробника різальних пластин.

Найбільш оптимальним режимом різання, як з точки зору сприятливості умов різання, так і з точки зору продуктивності виявився режим зі швидкістю $V = 144$ м/хв, що відповідає $n = 1250$ об/хв і величиною хвилинної подачі $s_{xв} = 250$ мм/хв. Площа перетину зрізу в цьому випадку знаходиться в оптимальних межах, як на вершинах так і в западинах різі, що дозволило

отримати необхідну шорсткість поверхні $Ra\ 3,2$ мкм. Як і у експерименті по обробці круглої різі R32 подальше збільшення частоти обертання шпинделя до $n = 1600$ об/хв призвело до виникнення вібрацій вже під час врізання, що пояснюється недостатньою жорсткістю технологічної системи в конкретному випадку. Збільшення хвилинної подачі більше ніж $s_{xв} = 250$ мм/хв не проводилося, як і у випадку обробки круглої різі R32.

Виходячи з результатів експериментального дослідження попередньо були встановлений режим різання при обробці різей трикутного профілю M48x3 та G1½" для конкретних виробничих умов, при яких забезпечується необхідна шорсткість поверхні ($Ra\ 3,2$ мкм), відсутність вібрацій і максимальна продуктивність, а саме швидкість різання $V = 144$ м/хв і хвилинна подача $s_{xв} = 250$ мм/хв, що відповідає подачі $s_z = 0,07$ мм/зуб.

Подальші дослідження спрямовані на підтвердження визначеного режиму різання при обробці виробничої партії, розроблення технологічної інструкції щодо обробки різей трикутного профілю M48x3 та G1½".

4.3.4 Дослідження показників якості внутрішніх різей з трикутним профілем

Виходячи із отриманих результатів визначення шорсткості різей трикутного профілю M48x3 та G1½" за допомогою візуального контролю та порівняння зі зразками шорсткості у ході дослідження було прийнято виконувати контроль шорсткості за аналогічним методом, адже контроль шорсткості поверхні даних різей за допомогою профілометра не можливий, що підтверджується аналізом методів контролю шорсткості різей у підрозділі 2.6.

Обсяг виробничої партії деталей кожного найменування складав по 50 штук. Також окрім шорсткості різі виконувався контроль дійсного значення зовнішнього діаметра різі за допомогою спеціально розробленого вимірювального стенда на основі нутроміра з індикатором годинникового типу

(рис. 4.16). Додатковий контроль виконувався різьбовими калібрами для метричної різі M48x3-7H та дюймової різі G1½" класом точності В.

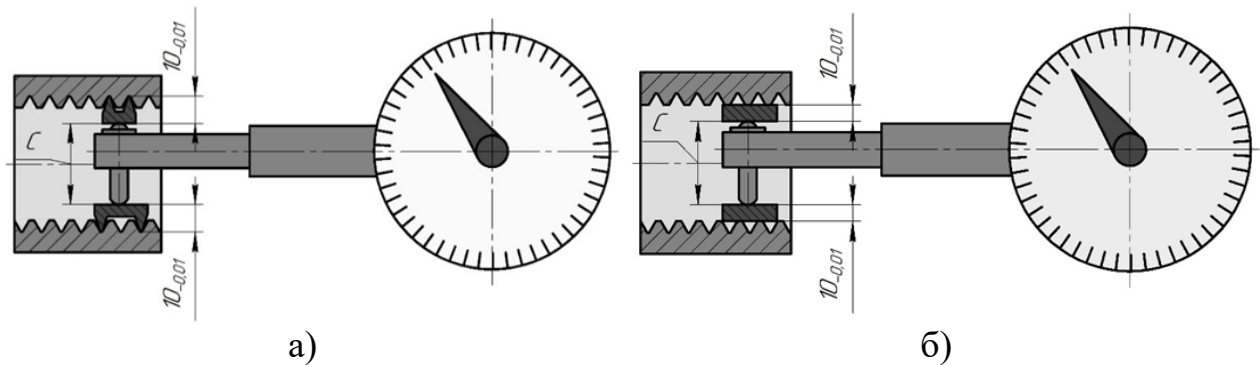


Рис. 4.16 – Вимірювальний стенд для контролю дійсного значень метричної різі: а) зовнішнього діаметра; б) внутрішнього діаметра

Розроблений вимірювальний стенд є аналогічним стенду для вимірювання зовнішнього діаметра круглої різі R32. Відмінність лише у розмірах товщини базуючих елементів. Результати вимірювання значень зовнішнього та внутрішнього діаметрів метричної різі M48x3 представлені на рис. 4.17, а дюймової різі G1½" - на рис. 4.17.

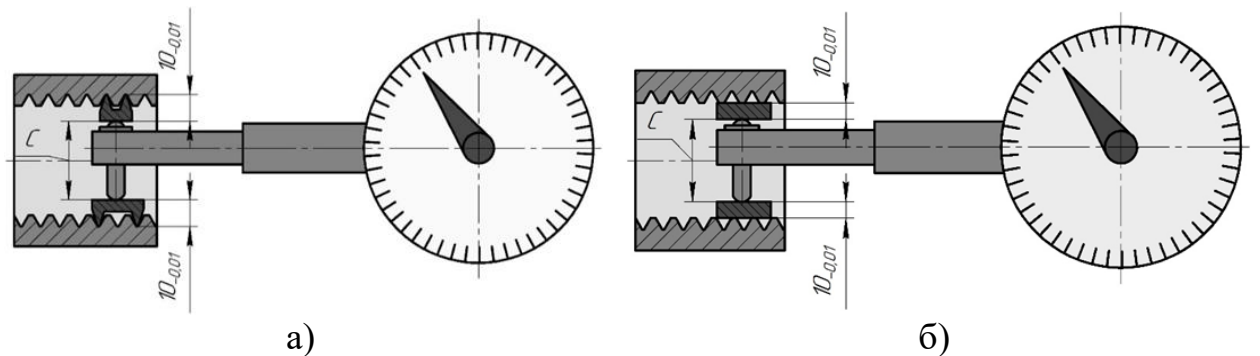
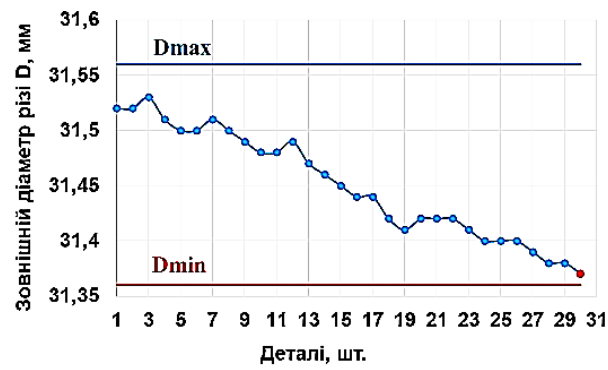
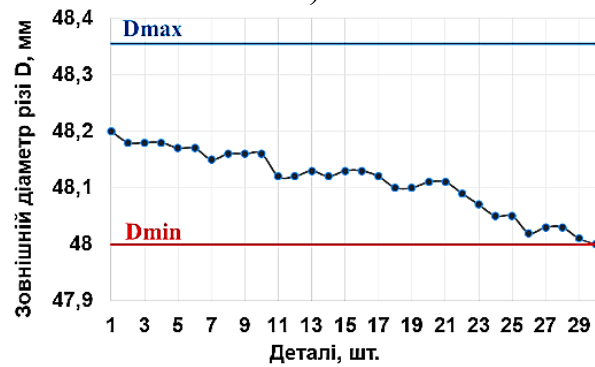


Рис. 4.17 – Вимірювальний стенд для контролю дійсного значень дюймової різі: а) зовнішнього діаметра; б) внутрішнього діаметра

Результати досліджень із визначення оптимальних режимів обробки з точки зору забезпечення сталості розмірів та отримання шорсткості різей у допустимих межах показали, що на випробувальному режимі обробки новими пластинами вдалось отримати в межах поля допуску 25 деталей для метричної різі та 28 деталей для дюймової різі

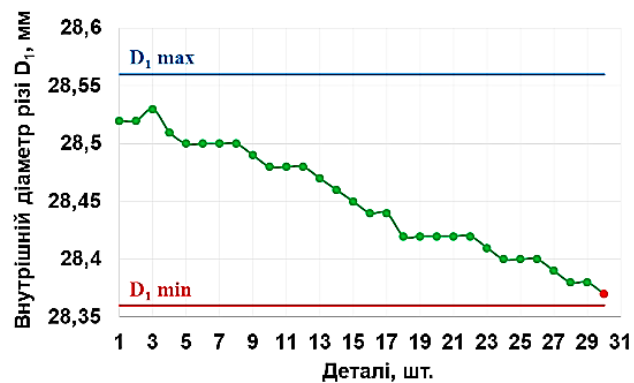


а)

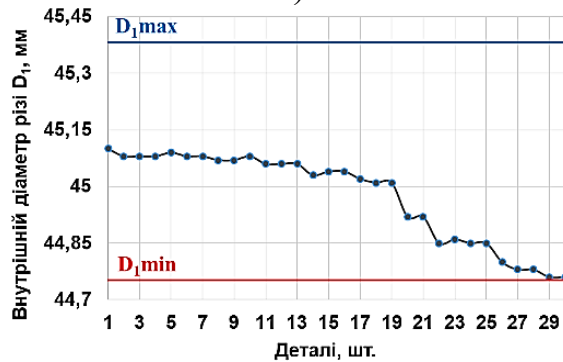


б)

Рис. 4.18 – Результати контролю зовнішнього діаметра різей: а) круглої R32; б) метричної M48x3



а)




б)

Рис. 4.19 – Результати контролю внутрішнього діаметра різей: а) круглої R32; б) метричної M48x3


Таблиця 4.3

Результати вимірювання параметрів різей трикутного профілю

Метрична різь М48х3-7Н ГОСТ 24705-2004		
Параметр	згідно ГОСТ	Отриманий
Кут профілю α , °	60	60
Крок p , мм	3,0	3,0
Висота профілю H_1 , мм	1,84	1,82



Дюймова різь G1½"-В ГОСТ 6357-81		
Параметр	згідно ГОСТ	Отриманий
Кут профілю α , °	55	55
Крок p , мм	2,309	2,31
Висота профілю H_1 , мм	1,478	1,5



Таким чином, отримані дані по кількості деталей, що були оброблені одним комплектом різальних пластин при постійних значеннях режимів обробки для метричної та дюймової різей дозволяє дещо узагальнити рекомендації для обох типів різей та сформувані єдині рекомендації із оброблення внутрішніх різей трикутного профілю:

1. Застосовувати обробку непрофільним інструментом партії деталей більше 50 шт.

2. При обробці метричної різі М48х3 ГОСТ 16093-81 довжиною 70 мм рекомендовано використовувати непрофільний інструмент з пластинами VCMТ 110302 у кількості 3 шт.

3. Виконувати обробку заготовок зі сталі 40Х з режимом різання $t=1,75$ мм; $i=1$; $s_o = 0,21$ мм/об; $s_{x\phi} = 210$ мм/хв; $V = 144$ м/хв.

4. Ввести корекцію в керуючу програму на збільшення діаметра гвинтової траєкторії до 1,96 мм на 25-й деталі та збільшення діаметра гвинтової траєкторії до 2,16 мм на 32-й деталі.

5. Здійснити заміну пластин на нові після обробки 48-ї деталі та повернути значення діаметра гвинтової траєкторії до значення 1,76 мм.

6. Використання подач в діапазоні 0,1...0,25 мм/об та швидкостей різання 120...200 м/хв дозволяє забезпечити виготовлення різи з допуском 0,4 мм та шорсткість Ra 3,2 мкм, що задовольняє умовам креслення.

4.4 Висновки

У даному розділі виконано експериментальні дослідження обробки внутрішніх різей методом огинання, а також запропоновано практичну реалізацію запропонованого способу обробки внутрішніх різей.

Виконано моделювання процесу обробки внутрішніх різей методом огинання у програмному пакеті PowerMill, що дозволило визначити параметри профілей різей. Таким чином встановлено, що профілі круглої R32, метричної M48x3 та дюймової G1½" різей відповідають усім параметрам згідно відповідних стандартів. Виконано експериментальні дослідження із обробки круглої R32, метричної M48x3 та дюймової G1½" різей за результатами яких визначено ресурс різальних пластин, оптимальні режими обробки для кожного типу різей та сформовані рекомендації, що можуть бути застосовані у реальних виробничих умовах при обробці вищевказаних різей.

Результати досліджень даного розділу наведено в публікації:

Нешта А.О. Забезпечення параметрів якості круглої внутрішньої різи при обробці високопродуктивним способом / А.О. Нешта // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. № 3 (81).

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКОСТІ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ

5.1 Визначення ефективної області застосування технології оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання

У ході модального аналізу конструкцій непрофільних різальних інструментів, а також виконаного аналізу показників точності та якості поверхонь внутрішніх різей різних типів (кругла, метрична та дюймова) встановлено, що запропонованим способом вищевказані різі можуть бути оброблені згідно до вимог регламентованих відповідними стандартами та робочими кресленнями деталей, що містять у конструкціях дані різьові поверхні. Тому наступним етапом дисертаційної роботи є визначення ефективної області застосування способу оброблення внутрішніх різей методом огинання на фрезерних верстатах з ЧПК.

Для виконання цього етапу зробимо порівняння структур технологічних процесів (ТП) при обробці корпусу бурової коронки та муфти з'єднувальної. При цьому у технологічні процеси обох деталей вводимо додаткову операцію – вертикально-фрезерну з ЧПК, на якій буде виконуватись обробка внутрішніх різей – круглої R32 (рис. 4.12) у корпусі бурової коронки та метричної M48x3-7H і M48x3-LH-7H у муфті з'єднувальній (рис. 4.20).

Представимо порівняльні структури ТП – базового та запропонованого, а також діаграми їх порівняння за основними нормами часу для кожної із деталей на рис. 5.1, 5.2 та рис. 5.3, 5.4 відповідно.

Із діаграм на рис. 5.2 та рис. 5.4 видно, що зменшення оперативного часу при обробці корпусу бурової коронки складає 30%, а з'єднувальної муфти 78%. Така суттєва різниця у відсотковому співвідношенні для вищевказаних деталей пояснюється різницею у загальній трудомісткості частки часу, що витрачається

на обробку різьових поверхонь. Адже конструкція муфти з'єднувальної потребує меншої кількості переходів для обробки, ніж корпус бурової коронки.

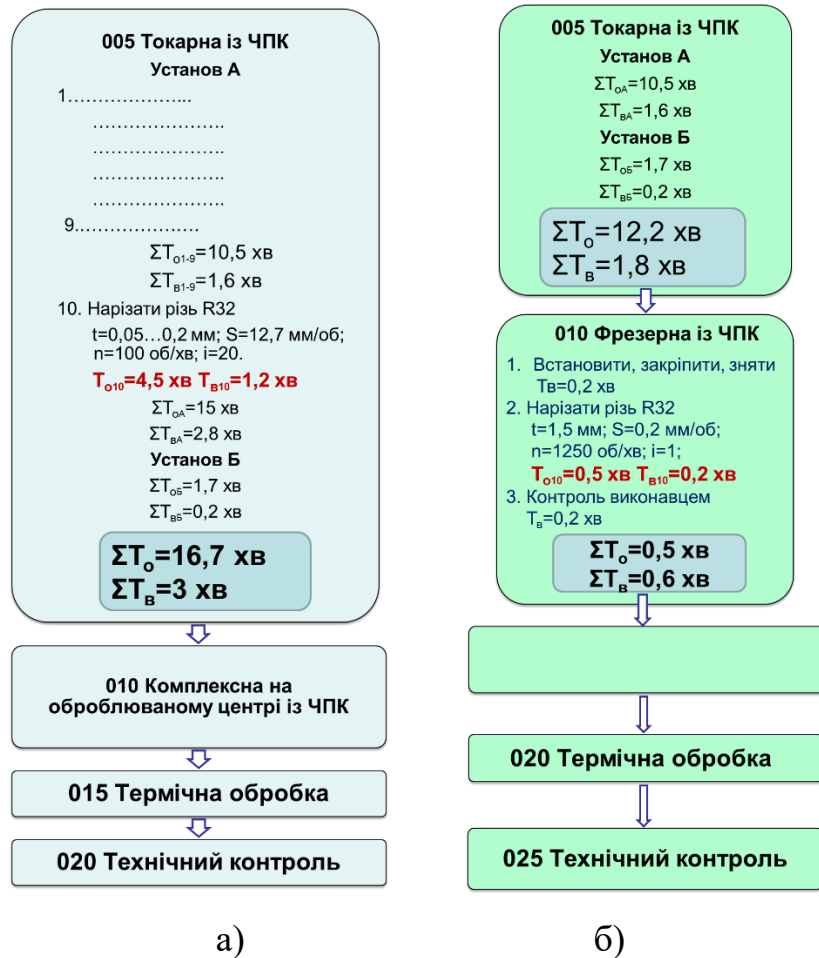


Рис. 5.1 – Структури ТП при обробці корпусу бурової коронки: а) базового; б) запропонованого.

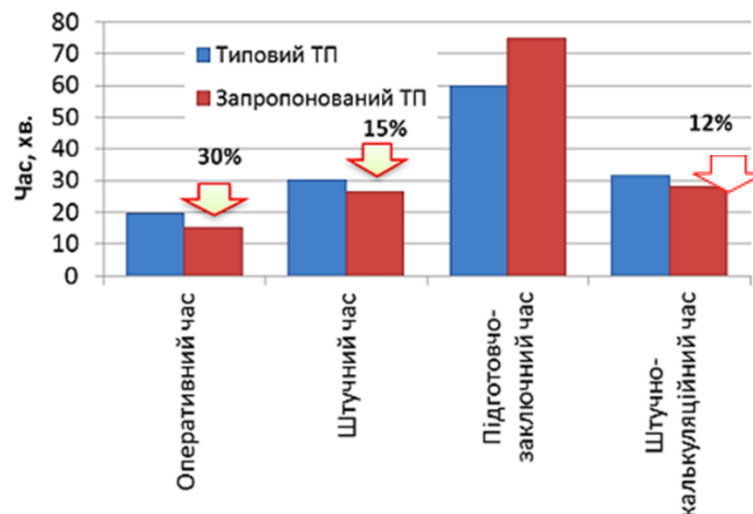


Рис. 5.2 – Порівняння ТП за основними нормами часу при обробці корпусу бурової коронки

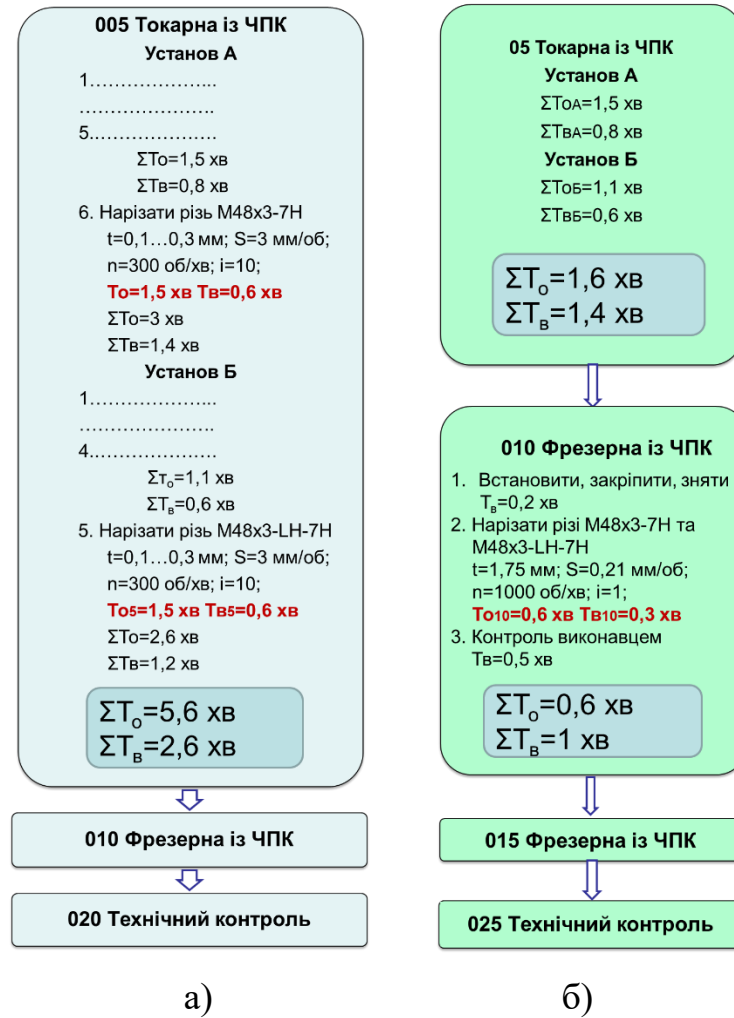


Рис. 5.3 – Структури ТП при обробці муфти з'єднувальної: а) базового; б) запропонованого.

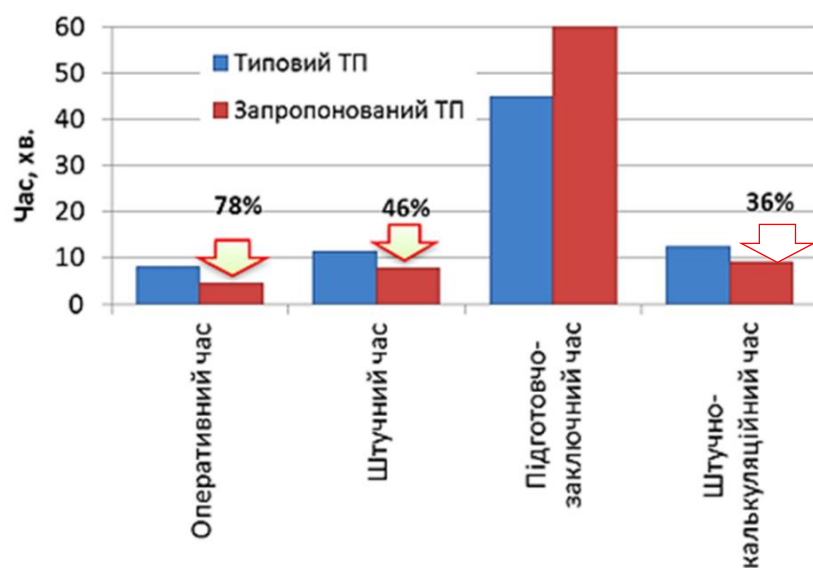


Рис. 5.4 – Порівняння ТП за основними нормами часу при обробці муфти з'єднувальної

Також із діаграм на рис. 5.2 та рис. 5.4 встановлено, що зменшення штучного часу складає 30% та 78%, відповідно. Проте при введенні додаткової технологічної операції для обробки внутрішніх різей у аналізованих деталях у запропонованому ТП зросла частка підготовчо-заключного часу на 20% та 35% відповідно. Це говорить про те, що для компенсації цього зростання та ефективності застосування запропонованого способу обробки необхідна обробка певної партії деталей. Так як у більшості випадків основним типом сучасного машинобудівного виробництва є середньосерійний тип [110-112], то прийнято партію деталей $N=50$ шт. Таким чином при розподіленні підготовчо-заключного часу на партію деталей вдалося досягнути загального зменшення штучно-калькуляційного часу на 12% при обробці корпусу бурової коронки та на 36% при обробці муфти з'єднувальної.

У результаті даного порівняння встановлено, що ефективність застосування запропонованого способу обробки непрофільним інструментом, у порівнянні із методом копіювання при нарізанні внутрішніх різей фасонним різцевим різцем, зростає зі збільшенням частки обробки різьових поверхонь непрофільним інструментом за методом огинання у загальному обсязі механічної обробки деталі, а також при збільшенні партії деталей.

Проте для визначення ефективної області застосування запропонованого способу у порівнянні із існуючими способами необхідно визначити ефективну область застосування способу. У якості способів для порівняння оберемо найбільш поширені способи обробки внутрішніх різей на сьогоднішній день:

- нарізування різі різьовим різцем із механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин;
- нарізування різі односторонньою різьовою фрезою із механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин;
- одностороннє нарізування різі різцем.

Для порівняння та визначення ефективної області застосування оберемо найбільш важливі критерії, що впливатимуть на собівартість готової продукції при обробці різей тим чи іншим способом:

- за вартістю різальних пластин у гривнях на деталь;
- за вартістю корпусу різального інструмента у гривнях на деталь;
- за зменшенням витрат на оплату праці робітників за рахунок скорочення основного часу;
- за приведеною собівартістю в залежності від обсягу партії деталей.

Значення собівартості різальних пластин та інструменту було взято усередненим за даними прайс-листів найбільш поширених компаній по виробництву різального інструменту та зведено у табл. 5.1 та 5.2. При цьому вартість корпусу непрофільного різального інструменту для обробки запропонованим способом за методом безцентроїдного огинання розраховувалась шляхом калькуляції вартості матеріалу та механічної обробки. Вартість механічної обробки корпусу розрахована шляхом множення середнього значення вартості роботи верстата та робітника на експериментально визначений час його виготовлення згідно проведеного хронометражу. Також, варто зазначити, що для запропонованого способу, згідно підрозділу 4.2, доведено можливість застосування стандартних пластин для токарної обробки.

Таблиця 5.1

Дані щодо вартості різальних пластин

№	Найменування способу обробки	Вартість різальної пластини, грн.	Кількість пластин на інструменті, шт.	Загальна вартість різальних пластин, грн.	Кількість різальних кромок на пластині	Нормативний період стійкості пластин/інструменту, хв
1	Нарізання профільним різцем	600	1	600	1	30
2	Нарізання односторонньою фрезою	1500	1	1500	1	60
3	Однопрохідне нарізання різцем	100	1	100	1	30
4	Нарізання непрофільним інструментом	100	3	300	2	30

Таблиця 5.2

Дані щодо вартості корпусів різальних інструментів

№	Найменування способу обробки	Вартість корпусу, грн.	Необхідна кількість корпусів для обробки номенклатури різей до 5-ти типорозмірів
1	Нарізання профільним різцем	7000	1
2	Нарізання односторонньою фрезою	6000	2
3	Однопрохідне нарізання різцем	7000	1
4	Нарізання непрофільним інструментом	10000	5

Таким чином, виходячи із даних вартості різальних пластин та інструменту для обробки внутрішніх різей, представлені графіки розподілу собівартості пластин (рис. 5.5) та інструменту (рис. 5.6) на одну деталь при зміні обсягу партії деталей та врахування нормативного періоду стійкості, а також наявності на певних типах пластин декількох різальних кромок згідно табл. 5.1.

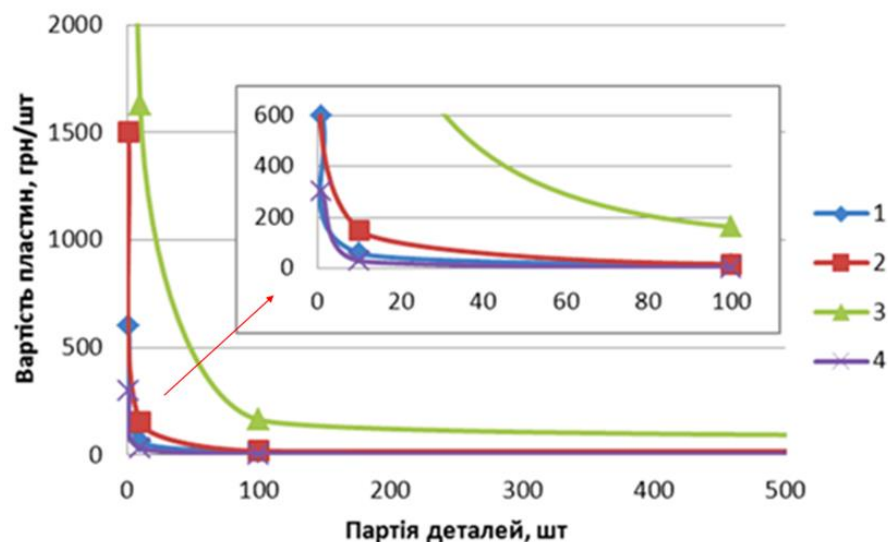


Рис. 5.5 – Частка вартості різальних пластин на одну деталь залежно від обсягу партії деталей

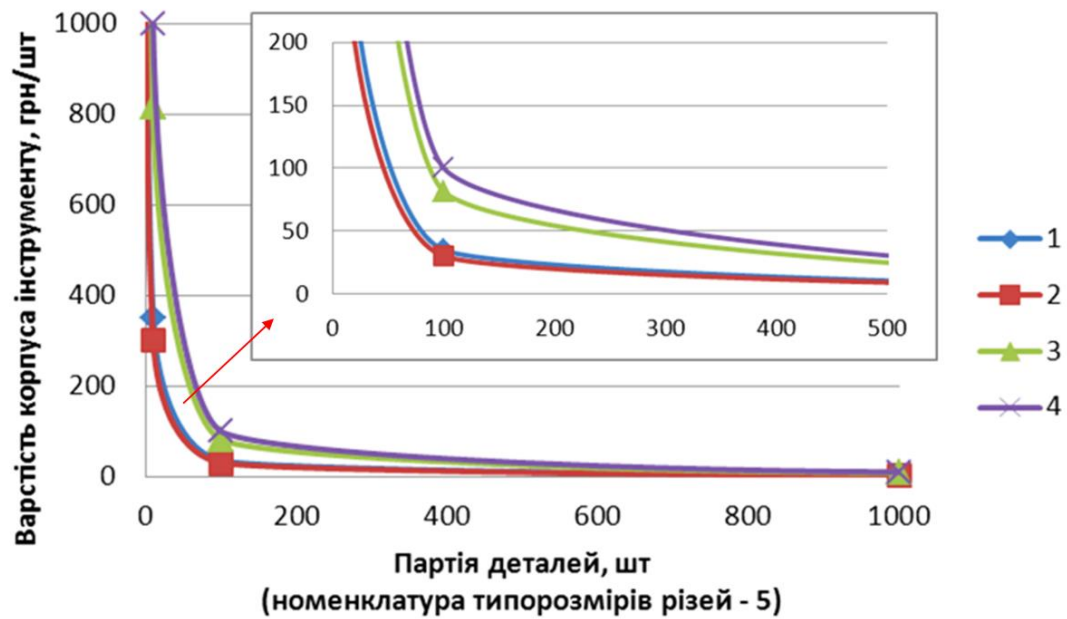


Рис. 5.6 – Частка вартості різального інструменту на одну деталь залежно від обсягу партії деталей

У результаті аналізу отриманих графіків, щодо частки вартості різальних пластин на одну деталь (рис. 5.5) встановлено, що запропонований спосіб показує свою ефективність перед іншими при будь-якій величині обсяг партії. Це пояснюється початковою низькою вартістю різальних пластин для токарної обробки у порівнянні із пластинами для різальних інструментів, що працюють за методом копіювання.

Із рис. 5.6 встановлено, що частка вартості корпусу інструменту для запропонованого способу вища ніж у інших аналізованих способів при будь-якій величині партії при номенклатурі оброблюваних різей більше п'яти типорозмірів. Це пояснюється необхідністю виготовлення нового корпусу при обробці різі іншого типорозміру навіть у межах конкретного профілю (круглий, тругний). Тому виходячи із вищесказаного спосіб обробки непрофільним інструментом бажано застосовувати при номенклатурі різей до п'яти типорозмірів та обсягах партії більше 500 штук на кожен типорозмір.

Також виконаємо визначення зменшення витрат на оплату праці робітників за рахунок скорочення основного часу вищерозглянутих способів у порівнянні із запропонованим запропоновним способом за даними визначення

основного часу (табл. 5.3) в залежності від обсягу партії деталей (рис. 5.7). Економію заробітної плати робітників будемо вираховувати із найбільш непродуктивного способу, а саме нарізання різи різцем згідно даних табл. 5.3. Середнє значення заробітної плати робітника-верстатника за даними на 3-й квартал 2017 року складає 50 грн/год.

Таблиця 5.3

**Результати визначення основного часу при обробці ділянки круглої різи
R32 довжиною 100 мм**

№	Найменування способу обробки	Кількість проходів, i	Хвилинна подача, $S_{хв}$, мм/хв	Основний час, T_0 , хв
1	Нарізання профільним різцем	20	762	4,6
2	Нарізання односторонньою фрезою	4	300	1,1
3	Однопрохідне нарізання різцем	1	40	2,1
4	Нарізання непрофільним інструментом	1	250	0,5

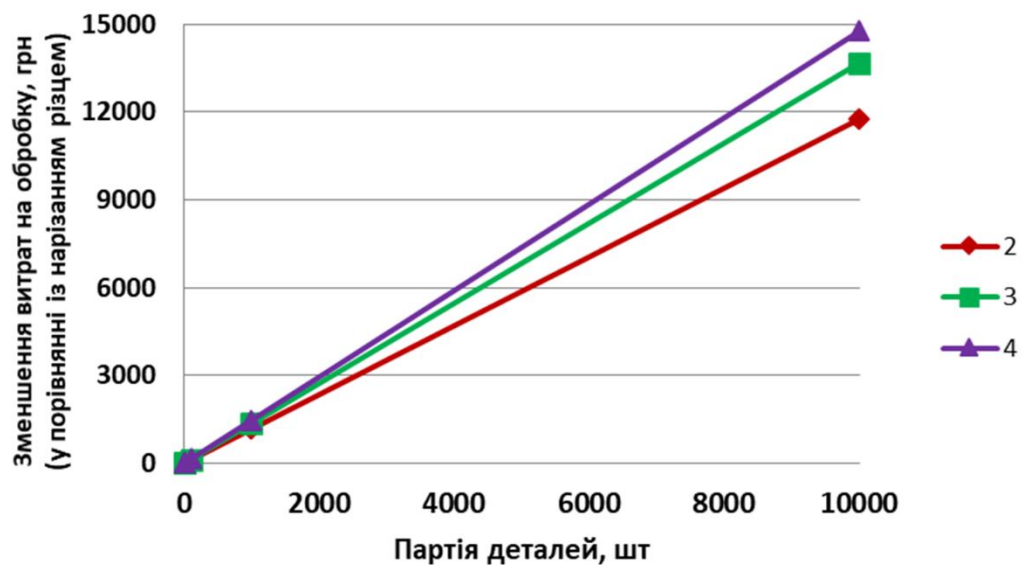


Рис. 5.7 – Зменшення витрат на оплату праці робітника-верстатника на одну деталь, у порівнянні із обробкою різьбовим різцем, залежно від обсягу партії деталей

Із рис. 5.7 простежується, що зі збільшенням обсягу партії деталей ефективність запропонованого способу обробки внутрішніх різей непрофільним інструментом за методом огинання зростає у порівнянні із іншими способами. Для визначення ефективної області застосування було виконано узагальнення трьох отриманих графіків (рис. 5.5-5.7) та побудована залежність приведеної собівартості механічної обробки деталі в залежності від обсягу партії (рис. 5.8). Приведена собівартість включає в себе частки вартості різальних пластин та корпуса різального інструмента у гривнях на деталь та частку витрат на оплату праці робітників.

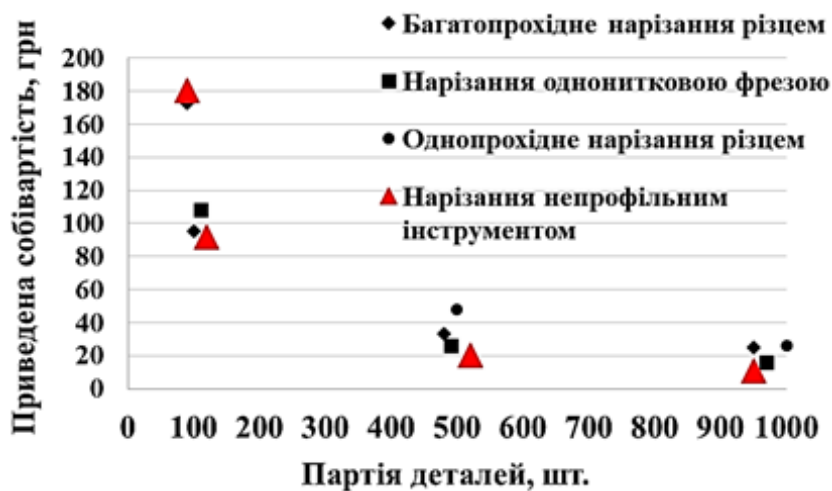


Рис. 5.8 – Загальні витрати на механічну обробку круглої внутрішньої різі R32 у відношенні на одну деталь

Таким чином із графіка (рис. 5.8) на прикладі обробки круглої внутрішньої різі R32 можуть бути сформовані наступні рекомендації: нарізання профільним різцем доцільно використовувати при кількості типорозмірів $n > 10$ та партіях до 20 штук, нарізання однопітковою фрезою – при $n = 5 \dots 10$ та партіях до 20 штук, однопрохідне нарізання різцем – при $n = 3 \dots 5$ та партіях до 100 штук, нарізання запропонованим способом за методом огинання непрофільним інструментом – при $n = 1 \dots 3$ та партіях більше 50 штук. При цьому варто враховувати, що дані області можуть дещо змінюватись залежності

від загальної трудомісткості та інших факторів, що можуть виникнути у виробничій системі.

5.2 Розрахунок економічного ефекту від впровадження технології оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом

Для виконання розрахунків із визначення економічного ефекту від впровадження запропонованого способу, що заснований на методі огинання, спочатку виконаємо порівняння існуючих способів обробки круглої різі R32 та метричної різі M48x3 із запропонованим способом.

Порівняння виконаємо для найбільш часто використовуваних способів обробки круглої різі за оперативним часом:

- 1 – багатопрохідне нарізання фасонним різцем з радіальним врізанням;
- 2 – багатопрохідна обробка на токарних верстатах з ЧПК з комбінованим врізанням;
- 3 – однопрохідна обробка на токарному верстаті з ЧПК однолезовим інструментом;
- 4 – обробка на фрезерному верстаті з ЧПК одонитковою різьовою фрезою;
- 5 – обробка на фрезерному верстаті з ЧПК запропонованим способом непрофільним інструментом.

Таблиця 5.3

Результати визначення основного часу при обробці ділянки круглої різі R32 довжиною 100 мм

№ способу	Кількість проходів i	Хвилинна подача, $S_{xв}$, мм/хв	Основний час, T_o , хв
1	20	762	4,6
2	22	770	4,6
3	1	40	2,1
4	4	300	1,1
5	1	250	0,5

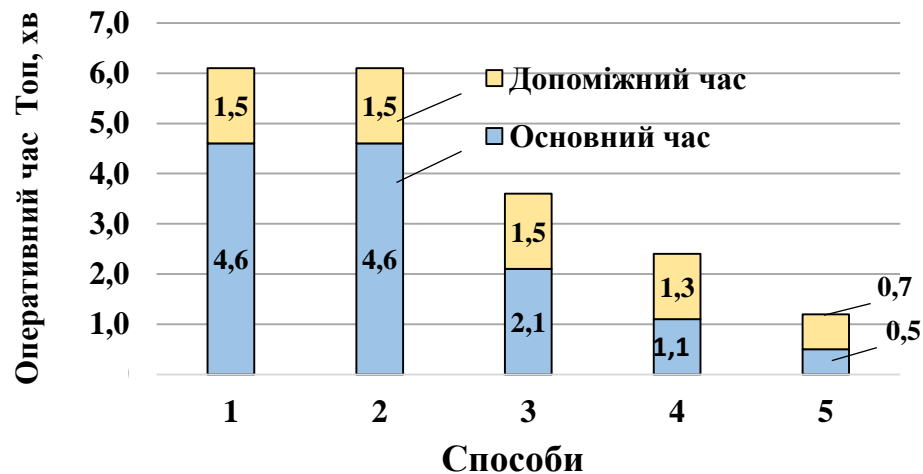


Рис. 5.9 – Порівняння способів обробки круглої різі R32 за оперативним часом (основним та допоміжним)

Розрахунок основного часу виконано згідно даних табл. 5.4, а отримані дані проілюстровано на рис. 5.9.

Аналогічне порівняння виконаємо і для найбільш поширених способів обробки метричної різі за оперативним часом:

- 1 – багатопрохідне точіння фасонним різцем;
- 2 – нарізання мітчиком;
- 3 – обробка на фрезерному верстаті із ЧПК односторонньою різьовою фрезою;
- 4 – обробка гребінчастою фрезою;
- 5 – обробка на фрезерному верстаті із ЧПК непрофільним інструментом.

Таблиця 5.4

Результати визначення основного часу при обробці ділянки метричної різі M48x3 довжиною 100 мм

№ способу	Кількість проходів i	Хвилинна подача, S _{хв} , мм/хв	Основний час, T _о , хв
1	10	600	2,1
2	2	30	4,3
3	3	200	0,69
4	2	200	0,46
5	1	250	0,33

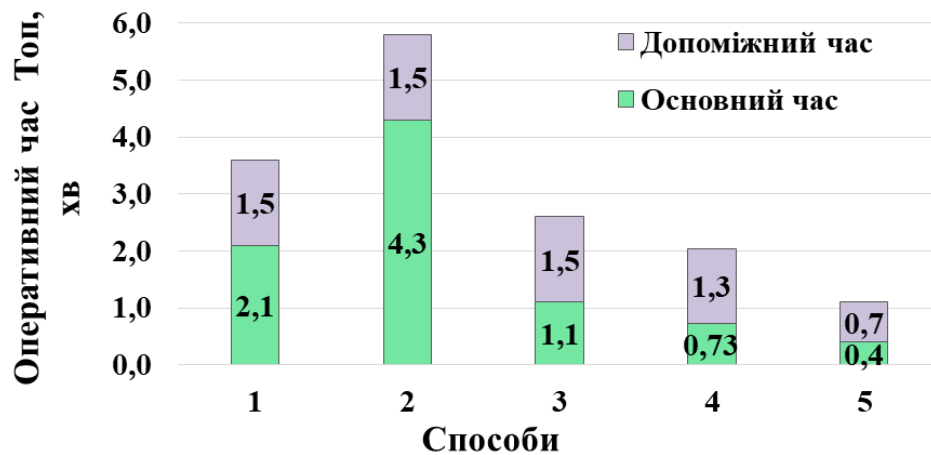


Рисунок 5.10 – Порівняння способів обробки метричної різі М48х3
за основним часом

Розрахунок основного часу виконано згідно даних табл. 5.5, а отримані дані проілюстровано за допомогою гістограми (рис. 5.10). Номери способів відповідають вказаним вище.

Із розрахунків основного часу встановлено, що запропонований спосіб обробки непрофільним інструментом за методом огинання серед усіх вищерозглянутих є найбільш ефективним, адже при інших рівних умовах за одиницю часу буде виконана обробка більшої кількості деталей.

Тому для визначення величини економічного ефекту від впровадження запропонованого способу виконаємо розрахунок зведених річних витрат на різальні інструменти.

Для середньосерійного виробництва річний обсяг випуску деталей масою до 10 кг складає близько 2000 деталей на рік. Порівняння за економічними показниками проводимо для ТП механічної обробки корпусу бурової коронки та муфти з'єднувальної. При цьому у типовому ТП різі обробляються на токарному верстаті з ЧПК, а у запропонованому варіанті у ТП вводиться додаткова операція із обробки різі на фрезерному верстаті з ЧПК.

Вихідними даними для розрахунків приймаємо норми штучно-калькуляційного часу, розраховані за нормативами для заданого обсягу

випуску, а також вартість різальних інструментів та годинні тарифні ставки робітників при обробці круглої різі R32, що зведено до табл. 5.5.

Для порівняння варіантів обробки деталей по двом ТП обробки круглої різі R32 необхідно розрахувати зведені річні витрати Z за формулою:

$$Z = \frac{(C_{in} \times (k_a + E_H) + \frac{T_o \times N \times n \times C_{пл}}{T \times d} + (T_{шт} + \frac{T_{пз}}{N}) \times P \times N}{N} \quad (5.1)$$

де N – обсяг партії деталей на рік.

T_o – основний час обробки різі, хв;

$T_{шт}$ – штучний час обробки деталі, хв;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час на операції, що необхідні для обробки деталі, хв;

C_{in} – сумарна вартість різального інструменту для обробки різі одного типорозміру, грн;

k_a – коефіцієнт витрат на амортизацію різальних інструментів, $k_a = 0,1$;

E_H – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності, $E_H = 0,2$;

$C_{пл}$ – вартість різальної пластини для обробки різі, грн;

n – кількість різальних пластин в одному інструменті;

T – нормативний період стійкості різальних пластин, хв;

d – кількість робочих вершин різальної пластини;

P – вартість оплати праці робітника-верстатника, грн./год

Розрахуємо зведені річні витрати Z_1 та Z_2 для обробки круглої різі R32 за типовим та запропонованим ТП відповідно згідно формули 5.1:

$$Z_1 = \frac{(7000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{4,5 \times 2000 \times 1 \times 800}{90 \times 2} + (31,1 + \frac{60}{2000}) \times 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 46,99 \text{ грн/шт.}$$

$$Z_2 = \frac{(10000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{0,5 \times 2000 \times 3 \times 100}{30 \times 2} + (26,2 + \frac{75}{2000}) \times 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 25,86 \text{ грн/шт.}$$

Виконаємо аналогічне порівняння для обробки різей із трикутним профілем, а саме метричної різі М48х3-7Н та М48х3-ЛН-7Н при обробці партії деталей «Муфта з'єднувальна». Дані, щодо норм часу та витрат на інструмент зведені до табл. 5.6.

Таблиця 5.5

Вихідні дані для розрахунку при обробці круглої різі R32

Показник	Позначення	Типовий ТП	Запропонований ТП
Величина партії деталей, шт.	N	2000	2000
Основний час обробки різі, хв	T_o	4,5	0,5
Штучний час обробки однієї деталі, хв	$T_{шт}$	31,1	26,2
Підготовчо-заклучний час обробки на один типорозмір деталі, хв	$T_{пз}$	60	75
Сумарна вартість інструменту, грн.	$C_{ін}$	7000	10000
Вартість різальної пластини, грн	$C_{пл}$	800	100
Годинна тарифна ставка робітника-верстатника, грн./год	P	50	50
Кількість різальних пластин, передбачених конструкцією інструменту, шт	n	1	3
Нормативний період стійкості різальних пластин, хв	T	90	30
Кількість робочих вершин на різальній пластині, шт	d	2	2

Таблиця 5.6

Вихідні дані для розрахунку при обробці метричної різі М48х3

Показник	Позначення	Типовий ТП	Запропонований ТП
l	2	3	4
Величина партії деталей, шт	N	2000	2000

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Основний час обробки різі, хв	T_o	3,2	0,6
Штучний час обробки однієї деталі, хв	$T_{шт}$	11,4	7,8
Підготовчо-заключний час обробки на один типорозмір деталі, хв	$T_{пз}$	45	60
Сумарна вартість інструменту, грн.	$C_{ін}$	6000	10000
Вартість різальної пластини, грн	$C_{пл}$	500	150
Годинна тарифна ставка робітника-верстатника, грн./год	P	50	50
Кількість різальних пластин, передбачених конструкцією інструменту, шт.	n	1	3
Нормативний період стійкості різальних пластин, хв	T	60	30
Кількість робочих вершин на різальній пластині, шт.	d	3	2

Аналогічно розрахуємо зведені річні витрати Z_1 та Z_2 для обробки різьових поверхонь у деталі «Муфта з'єднувальна», а саме метричних різей М48х3-7Н та М48х3-ЛН-7Н за типовим та запропонованим ТП відповідно згідно формули 5.1:

$$Z_1 = \frac{(6000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{3,2 \times 2000 \times 1 \times 500}{60 \times 3} + (11,4 + \frac{45}{2000}) / 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 19,3 \text{ грн/шт}$$

$$Z_2 = \frac{(10000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{0,6 \times 2000 \times 3 \times 100}{30 \times 2} + (7,8 + \frac{60}{2000}) / 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 11,02 \text{ грн/шт}$$

Для визначення грошової ефективності від впровадження запропонованого ТП виконаємо розрахунок річного економічного ефекту за варіантами ТП.

Економічний ефект E від застосування для партії деталей розраховують за формулою:

$$E = (Z_1 - Z_2) \times N \quad (5.2)$$

Виходячи із вищесказаного розрахуємо економічний ефект від впровадження запропонованого способу при обробці круглої різі у корпусах бурових коронок:

$$E = (46,99 - 25,86) \times 2000 = 42260 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконаємо розрахунок економічного ефекту для обробки різьових поверхонь у деталі «Муфта з'єднувальна»:

$$E = (19,3 - 11,02) \times 2000 = 16550 \text{ грн.}$$

На одну деталь відповідно економічний ефект складає 21,13 грн. для корпусу бурової коронки та 8,28 грн. при обробці муфти з'єднувальної.

У рамках дисертаційного дослідження проведено виробничі випробування запропонованого ТП із введенням додаткової операції, що передбачає обробку різьових поверхонь на фрезерному верстаті з ЧПК, а також випробування спроектованих конструкцій непрофільних інструментів на базі НПП «Насостехкомплект» (м. Суми). Обробка деталі виконувалась вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі FADAL 2216FX.

Виробничі випробування підтвердили ефективність запропонованих конструкцій непрофільних інструментів, а також рекомендацій із режимів обробки конкретних деталей, а саме: точність обробки та шорсткість поверхонь різей відповідає точності, що задані конструктором на кресленні; основний час при обробці круглої різі скоротився на 4 хв, а при обробці метричної різі у деталі «Муфта з'єднувальна» (M48x3-7H та M48x3-LH-7H) на 2,6 хв, що дозволило отримати річний економічний ефект 42260 грн та 16550 грн відповідно.

У дисертаційній роботі у якості експериментальних досліджень на дослідних зразках також було виконано обробку дюймової різі G1½", що показали задовільні результати за показниками якості та шорсткості поверхонь оброблених різей при зменшенні основного часу на обробку.

5.3 Висновки

У даному розділі виконана розробка практичних рекомендацій із вибору ефективної області застосування запропонованого способу для обробки внутрішніх різей круглого та трикутного профілів, а саме:

1. Встановлено, що нарізання запропонованим способом за методом огинання непрофільним інструментом доцільно використовувати при кількості типорозмірів – при $n = 1 \dots 3$ та партіях більше 50 штук, як для різей круглого так і трикутного профілів. При цьому варто враховувати, що дана область може дещо змінюватись в залежності від загальної трудомісткості та інших факторів, що можуть виникнути у виробничій системі.

2. Розрахунки річного економічного ефекту показали значне скорочення витрат на різальні пластини, а також витрат на заробітну плату робітників при використанні запропонованого технологічного процесу із введенням додаткової операції у технологічний процес. Річний ефект за укрупненими розрахунками при обробці корпусів бурових коронок склав 42260 грн., а при обробці муфт з'єднувальних – 16550 грн. при річному випуску деталей 2000 шт. кожного із найменувань деталей. При цьому собівартість однієї деталі зменшилась на 21,13 грн. та 8,28 грн. відповідно.

Результати досліджень даного розділу наведено в публікації:

Нешта А.А. Анализ производительности обработки винтовых поверхностей / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2015. – № 2. – С. 46–49.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення продуктивності оброблення внутрішніх різей спеціального профілю непрофільним різальним інструментом методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК.

1. Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик профілів різей та технологій їх оброблення з урахуванням кінематичних можливостей фрезерних верстатів з ЧПК дозволив визначити типи різей, для яких можливе застосування технології оброблення непрофільним інструментом методом безцентроїдного огинання, а саме: однозахідні внутрішні циліндричні різі, симетричного профілю із радіусною формою западини, за формою профілю: трикутні, кругловідні та комбіновані, середньої та низької точності. Визначено місце нового способу оброблення серед альтернатив та сформульовані конструкторсько-технологічні обмеження, що забезпечують необхідну якість та точність.

2. Теоретично обґрунтований набір та зв'язок технологічних параметрів, які реалізують оброблення внутрішніх різей спеціального профілю методом безцентроїдного огинання на верстатах з ЧПК. Встановлені особливості зміни глибини різання, довжини різальної кромки та обмеження на геометрію різального інструменту з боку геометрії різі та технологічних рухів.

3. Розроблена математична модель процесу силової взаємодії в технологічній системі при обробленні методом безцентроїдного огинання на фрезерних верстатах з ЧПК показала екстремальний вплив кількості різальних елементів на глибину різання (для кожного різального елемента) та сумарну результуючу силу різання, що діє на різальний інструмент. Встановлено, що мінімальні зміни глибини різання та сумарної результуючої сили різання виникають для різального інструмента з трьома різальними пластинами.

4. Визначені межі застосування технології оброблення внутрішніх різей методом огинання непрофільним інструментом: для метричної – в діапазоні

кроків $p=2\div 3,5$ мм та діаметрами $D=16\div 64$ мм, трапецеїдальної $p=2$ мм та діаметрами $D=16\div 28$ мм, дюймової – з усіма типорозмірами кроків та діаметрами $G3/8\div G3"$ та круглої – з кроком $p=12,7$ мм та діаметрами $R22\div 64$ мм. Доведено, що діапазон діаметрів оброблюваних різей обмежується лише конструктивними розмірами інструмента.

5. Запропоновані залежності діаметрів непрофільного інструменту і параметрів траєкторії його руху від параметрів різі у вигляді рівнянь регресії дозволяють з достатньою точністю обирати геометричні і кінематичні характеристики інструменту. Встановлено, що для метричної, дюймової та круглої різі похибка розрахунку діаметру непрофільного інструменту та радіусу його гвинтової траєкторії, визначених методом найменших квадратів не перевищує 0,5% порівняно з результатами геометричного моделювання.

6. Встановлено та експериментально підтверджено, що запропоновані технологічні процеси, а також конструкції різальних інструментів для обробки круглої різі R32 та метричної різі M48x3-7H та M48x3-LH-7H дозволяють забезпечувати точність обробки згідно вимог відповідних стандартів. Визначено оптимальний режим різання для круглої різі R32 при обробці корпусів бурових коронок зі сталі 5ХНМ, а саме $V = 118$ м/хв та $s_{хв} = 250$ мм/хв та при обробці муфти з'єднувальної зі сталі 40Х – $V = 144$ м/хв та $s_{хв} = 210$ мм/хв за умови наявності на інструменті трьох різальних пластин.

7. Комп'ютерне моделювання оброблення дюймової ($G1\frac{1}{2}"$ ГОСТ 6357-81, клас точності В), метричної (M48x3-7H ГОСТ 16093-2004) та круглої (R32 ISO 10208) різей у програмному забезпеченні Delcam PowerMill. показало, що розміри отриманих профілів різей M48x3, $G1\frac{1}{2}"$ та R32 перебувають у межах допуску на їх виготовлення згідно відповідних стандартів, тобто точність забезпечується.

8. При експериментальному обробленні круглих різей R32 в деталях з виробничої партії корпусів бурових коронок, а також муфт з'єднувальних з метричними різями M48x3-7H та M48x3-LH-7H та почерговому контролі їх зовнішнього та внутрішнього діаметрів встановлено технологічну стійкість

твердосплавних пластин: 30 деталей із круглою різзю R32 та 25 деталей із метричною різзю M48x3.

9. Порівняння за продуктивністю найбільш поширених способів оброблення круглої та метричної різей показало зменшення основного часу від 2 до 9 разів, а допоміжного – від 2 до 3 разів при обробленні із застосуванням запропонованої технології у порівнянні з відомими способами.

10. Результати досліджень впроваджено у виробництво корпусів бурових коронок та муфт з'єднувальних на НПП «Насостехкомплект» (м. Суми). Виробничі випробування підтвердили ефективність запропонованих ТП, а також конструкцій непрофільних різальних інструментів. Річний ефект за укрупненими розрахунками при обробці корпусів бурових коронок склав 42260 грн., а при обробці муфт з'єднувальних – 16550 грн. при річному випуску деталей 2000 шт. кожного із найменувань деталей. При цьому собівартість однієї деталі зменшилась на 21,13 грн. та 8,28 грн. відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Якухин В.Г. Изготовление резьбы: Справочник / В.Г. Якухин, В.А. Ставров. – М. Машиностроение, 1989. – 192 с.: ил.
2. Грановский Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов.- М.: Высш. шк., 1985.- 304с.
3. Каталог Vargus Різенарізний інструмент для нафтогазового машинобудування [Електронний ресурс] — Режим доступу до журн.: <http://www.al-pl.ru/kat/vargus/Vargus%20Redline.pdf>
4. Каталог Sandvik Різальний інструмент для нарізання різей [Електронний ресурс] — Режим доступу до журн.: http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/ru-ru/turning/turn_c.pdf
5. Ткачев А.Г. Технология машиностроения: курс лекций / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин. – Тамбов : Изд-во Тамбовского гос. техн. ун-та, 2009. – 164 с.
6. Каталог Vargus Різенарізний інструмент [Електронний ресурс] — Режим доступу до журн.: http://www.vargus.com/download/files/MITM_Full_Catalog%20Rus.070409_72dpi.pdf
7. Каталог Різенарізні фрези [Електронний ресурс] — Режим доступу до журн.: <http://tehnofrezer.by/instr/10.html>
8. Каталог Sandvik [Електронний ресурс] — Режим доступу до журн.: <http://mip.zavod-vtuz.ru/sandvik-coromant/42-katalog-2011-vrashchayushchijsya-instrument/4471-str-d189-katalog-sandvik-coromant-2011>
9. Аршинов В.А. Резание металлов и режущий инструмент / В.А. Аршинов, Г.А. Алексеев. – М., «Машиностроение», 1967, 500 стр.
10. Никитин В.К. Вихревое нарезание резьбы в гайках / В.К. Никитин, Л.К. Шведков, Б.А. Скородумов. – Машгиз., 1956.- 43 с.

11. Данилов В.А. Проектирование кинематики металлорежущих станков: пособие по курсу «Конструирование и расчет станков» / В.А. Данилов. – Новополюцк : ПГУ, 2008. – 228 с.
12. Мальков О.В. Исследование точности резьбы при резьбофрезеровании сверло-резьбофрезой [Электронный ресурс] / О.В. Мальков // ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <http://technomag.edu.ru/index.html>.
13. Беломытцев А. Н. Моделирование резьбофрезерования/ А.Н. Беломытцев, В. А. Хоменко // 6-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь», г.Барнаул, идз-во АлтГТУ, 2009 г., с. 50.
14. Косарев Д. В. Повышение точности формообразования внутренних резьб фрезами с твердосплавными пластинами при планетарном движении инструмента : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.07 "Технология и оборудование механической и физико-технической обработки" / Косарев Дмитрий Владимирович – Москва, 2010. – 23 с.
15. Жуков Э.Л. Технология машиностроения / Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин. – М: Высшая школа, 2003. – 295 с. – (2). – (Производство деталей машин; т. 2).
16. Михайлов А.В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств / А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев, А.Г. Схиртладзе., 2010. – 336 с.
17. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения / И.М. Колесов. – М: Высшая школа, 2001. – 591 с. – (3).
18. Sandvik top hammer rock drilling tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.docuarchive.com/view/e64ea8b8450102afc49c4df48ae80672/SAnDvik-TOP-HAMMER-ROCK-DRILLING-TOOLS.pdf>.
19. Jimeno E.L. Drilling and blasting of rocks / E.L. Jimeno. – Rotterdam: Brookfield, 1995. – 392 с.

20. Мазур Н. П. Основы теории резания материалов: учебник / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др.: под общ. ред.: Мазура Н. П., Грабченко А. И. — 2-е изд., перераб. и доп. — Х.: НТУ "ХПИ", 2013. — 534 с.
21. Sandvik tool for turning threads [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.sandvik.coromant.com/enus/knowledge/threading/thread_turning/pages/default.aspx.
22. Patent WO 2000019056 (2000), Thread coupling for a drill string for percussive rock drilling. Sandström R.
23. Patent SU 1016096 Method of thread cutting (1983).
24. Okuma threads machining [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.okuma.com/vertical-machining-centers>
25. Patent US 2008/0232916 A1 (2008) USA, Process and device for producing threads, especially for boring rods or the like. Schiemann H.
26. Patent US 2008149698A (2010) USA, The female part of the drilling equipment and its manufacturing method.
27. Patent US 6293360 B1 (2001) USA, Thread joint percussive drilling equipment. Liljebrand Per-Olof, Olsson U.
28. Patent WO 2007133145 A1 (2007), A female part for top hammer-drilling and method for manufacturing a female part. Nava P., Sörensen P.
29. Patent US 5064004 A (1991) USA, Drill rod for percussion drilling. Lars-Gunnar. L.
30. DIN 20317 Rock drilling - Round thread connections for percussive drilling equipment - Dimensions, design (2014).
31. ISO 10208 Rock drilling equipment; left-hand rope threads (1991).
32. Patent US5044842 A (1991) USA, Round screw thread machining method. Miyata M., Matsumura T., Kawasumi M.
33. Patent 8245798 (2012) Female part and a method for manufacturing female parts. Nava P., Sörensen P.
34. Seco tools for turning threads [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://seco-tool.ru/doc/2015-narezanie-rezby-seco-tools-katalog.html>

35. Patent 2334590 (2008) Combined method of needle-turning threads machining.
36. Древаль А.Е. Точность обработки внутренних резьб комбинированным инструментом / А.Е. Древаль, О.В. Мальков, А.В. Литвиненко. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. - №12. – С. 45-52.
37. Нешта А. А. Анализ производительности обработки винтовых поверхностей / А. А. Нешта, Д. В. Криворучко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2015. – №2. – С. 46–49.
38. Mal'kov V. A. Precision of the external-thread profile in thread cutting / V. A. Mal'kov // Russian Engineering Research. – 2013. – №33. – С. 172–175.
39. Мальцев А. М. Обработка шнеков на токарных станках с ЧПУ / А. М. Мальцев, А. А. Аввакумов. // ИТО. – 2011. – №10. – С. 40–41.
40. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Издательство: Лань, 2008 – 512 с.
41. Мальков О. В. Определение профиля передней поверхности в торцевом сечении зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками / О.В. Мальков // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 1. С. 17-23.
42. Мальков О.В. Профилирование зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками / О.В. Мальков // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 10. С. 44-59. DOI: 10.7463/0613.0579350
43. Основы теории резания материалов: учебник / [Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др.]: под общ. ред.: Мазура Н. П., Грабченко А. И. — 2-е изд., перераб. и доп. — Х.: НТУ "ХПИ", 2013. — 534 с
44. Основи теорії різання матеріалів: підручник для вищ. навч. закладів / [М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок та ін.]: під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий Світ. – 2000, 2010. – 422 с.
45. Внуков Ю. М. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навч. посіб. / Ю. М. Внуков, В. О. Залога. – Суми: СумДУ, 2010. – 243 с.

46. По материалам сайта «Технология». Методы диагностики состояния режущего инструмента. – Режим доступа: http://texnologia.ru/documentation/cutting_of_metals/7.html.
47. Макаров А. Д. Износ и стойкость режущего инструмента / А. Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1966. – 264 с.
48. Мальков О. В. Разработка математической модели углов профиля зубьев резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками / О. В. Мальков, Л. Д. Малькова // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 5. С. 82-88. DOI: 10.7463/0414.0707227
49. Древаль А. Е. Определение диаметра резьбообразующей части резбовых фрез / А. Е. Древаль, О. В. Мальков, И. А. Павлюченков, Д. В. Виноградов // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 10. С. 74-87.
50. Мальков О. В. Разработка и исследование модели расчета углов профиля зубьев резбовых фрез с винтовыми стружечными канавками / О. В. Мальков // Известия ТулГУ. Технические науки, 2015. Вып. 3. С. 230-235. DOI: 10.7463/0314.0702743
51. Залого В. А. Диагностика процессов механической обработки с применением искусственных нейронных сетей: состояние вопроса / В. А. Залого, А. В. Гонщик, Р. Н. Зинченко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки, 2012. – № 2. - С. 128-137.
52. Залого В. А. Идентификация режима автоколебаний в обрабатывающей системе при фрезерований концевыми фрезами /
53. Залого В. А., Криворучко Д.В., Емельяненко С.С. // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2008. — Вып. 1(29). — С. 73-78.
54. Мальков О. В. Исследование кинематических возможностей образования отверстий сложного профиля сверло-резьбофрезой / О. В. Мальков, А. В.

Литвиненко, Л. Д. Малькова // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 3. С. 48-53.

55. Древаль А. Е. Определение минимального диаметра концевой фрезы / А. Е. Древаль, Д. В. Виноградов, О. В. Мальков // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2010. № 2. С. 8-10.

56. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. Для ВТУЗов / [Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе и др.]; под ред. Н. М. Капустина. – М.: Высш. шк. 2004. – 415 с.

57. Гречишников В. А. Исследование геометрии режущей части комбинированного инструмента с планетарным движением / В. А. Гречишников, С. А. Махров, Н. А. Уваров // Известия ТулГУ. Технические науки, 2011. Вып. 2. С. 110-114.

58. Ямников А.С. Перспективы нарезания резьбы резцами с керамическими пластинками / А.С. Ямников, В.М. Грязев // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сб. науч. тр. I Международной заочной научно-технической конференции / под ред. В.И. Гузеева и А.А. Дьяконова. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. С. 505-512.

59. Грязев В.М. О возможности нарезания резьбы резцами с керамическими пластинками / В.М. Грязев // Известия ТулГУ. Технические науки, 2013. Вып. 11. С. 230-235.

60. ГОСТ 16093-81 (СТ СЭВ 640-77) Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором.

61. Антонов Н.П. Скоростное нарезание резьбы резцами методом последовательных проходов. // Технология машиностроения: сб. науч. трудов. Тула: ТулПИ, 1971. Вып. 23. С. 17-28.

62. Бобров В. Ф. Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом. М.: Машиностроение, 1982. 104 с.

63. Резьба метрическая. Основные размеры. ГОСТ 24705 – 81 (СТ СЭВ 182-75).

64. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: ГОСТ 2789-73. – [Введ. 1975-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 7 с.
65. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения/ А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов // — М.: Машиностроение. – 1986. — 352 с.
66. Ямников А.С. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / А.С. Ямников [и др.]; под ред. А.С. Ямникова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. 269 с.
67. Залогов В. А. Расчёт индикаторов разрушения режущего инструмента/ В. А. Залогов, В. В. Нагорный // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машінобудування. – 2012. – № 66. – С. 96-102.
68. Ямников А.С. Снижение систематических погрешностей при токарной обработке тонкостенных сварных корпусов / А.С. Ямников, В.В. Иванов, А.О. Чуприков // Справочник. Инженерный журнал. 2013. № 9. С. 31-36.
69. Грязев В.М. Анализ причин повышенного изнашивания режущей пластины при нарезании усиленной упорной резьбы на заготовках из высокопрочных материалов / В.М. Грязев, А.О.Чуприков // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 1. С. 227-233.
70. Ямников А.С. Прогрессивная технология обработки винтовых поверхностей и резьб: монография / А.С. Ямников [и др.]; под ред. В.П. Кузнецова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. 233с.
71. Ямников А.С. Прогрессивные технологии резьбообработки: учеб. пособие / А.С. Ямников [и др.]. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 293 с.
72. Сандгартен И.Л. Метчики для нарезания трапецеидальных резьб. / И.Л. Сандгартен, А.А. Маликов, А.С. Ямников // Проектирование и технология изготовления: монография. Изд-во Ламберт, ФРГ. 2012. 143 с.
73. Mirnov I.Y. Manufacture of thread-cutting tools with smoothing elements / I.Y. Mirnov, A.A. Malikov, I.L. Sandgarten, A.S. Yamnikov // (2010) Russian Engineering Research. 30 (7). P. 742 – 744.
74. Маликов А.А., Сандгартен И.Л., Ямников А.С. Устойчивость продольного перемещения метчиков с ведущими элементами относительно

обрабатываемой резьбы // Известия ТулГУ. Технические науки, 2010. Вып. 1. С. 105-108.

75. Ямников А.С., Сандгартен И.Л., Кузнецов В.П. Аналитическое определение деформации ведущих элементов метчиков // СТИН. №12, 2009. С. 29-32.

76. Маликов А.А. Влияние деформации ведущих элементов метчиков на точность резбонарезания / А.А. Маликов, И.Л. Сандгартен, А.С. Ямников // Известия ТулГУ. Технические науки, 2010. Вып. 1. С. 89-92.

77. Мирнов И.Я. Технология изготовления резьбообразующих инструментов с выглаживающими элементами / И.Я. Мирнов [и др.]. // СТИН, 2010. №4. С. 27-31.

78. Ямников А.С. Определение сил, действующих на режущую часть метчика/ А.С. Ямников [и др.] / Технология машиностроения, 1999. (пилотный выпуск). С. 13-16.

79. Ямников А.С., Федин Е.И., Попов М.А. Управление точностью при многопроходном резбонарезании // СТИН, 1999. № 110. С. 11.

80. А.Ю. Илюхин Специфика сборки соединений с избыточными связями / А.Ю. Илюхин, А.С. Ямников // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2008. № 4. С. 27-29.

81. Солянкин Д.Ю. Перспективы повышения производительности нарезания резьб фрезоточением / Д.Ю. Солянкин, А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Известия ТулГУ. Технические науки, 2011. № 3. С. 260-264.

82. Солянкин Д.Ю. Методика определения параметров срезаемых слоев и огранки при фрезоточении резьб / Д.Ю. Солянкин, А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Известия ТулГУ. Технические науки, 2011. № 3. С. 272-278.

83. Солянкин Д.Ю., Ямников А.С., Ямникова О.А. Методика расчета сил резания при фрезоточении // Известия ТулГУ. Технические науки, 2014. Вып. 9. Ч. 2. С. 287-292.

84. Ямникова О.А. Имитационное моделирование фрезоточения резьбы / О.А. Ямникова, А.С. Ямников, Д.Ю. Солянкин // Научные технологии в машиностроении, 2011. № 5. С. 3-13.
85. Мальков О.В. Общий случай профилирования зубьев резьбовой части сверло-резьбофрезы / О.В. Мальков, А.В. Литвиненко // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 1997. № 2. С. 77—84.
86. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1978. 88 с.
87. Гурьева А.Д. Сравнительный анализ способов обработки резьб / А.Д. Гурьева // Научные технологии в машиностроении, 2014. № 1. С. 18-23.
88. Пат. UA №103734. Спосіб обробки круглої внутрішньої різьби / Некрасов С.С., Криворучко Д.В., Нешта А.О. МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. – № а201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. № 21.
89. Pat. DE 3627798 A1 DBR, Int.Cl.4 B23G 5/20. Verfahren und Werkzeug zur Herstellung von Gewindebohrungen / Rolf Klenk GmbH & Co Kg (DBR).
90. Pat. 5413438 USA, Int.Cl.6 B23C 3/00; B23G 5/20. Combined hole making and threading tool / M.C.Turchan (USA).
91. Pat. 456408 Sweden, Int.Cl.4 B23G 5/20. Borroch gangverktyg / B.Bergstrom, H.Lindberg (Sweden); Sandvik AB (Sweden).
92. Мальков О.В. Выбор наружного диаметра резьбовой части сверло-резьбофрезы / О.В. Мальков, А.В. Литвиненко // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 1997. № 3. С. 78—84.
93. Левицкий М.Я. Резьбофрезерование / М.Я. Левицкий // Киев: Машгиз. Украинское отделение, 1990. 192 с.
94. Zhdanova A.V. Theoretical Study of the Load Distribution on the Threads for Roller Screw Mechanisms of a Friction Type / A.V. Zhdanova, V.V. Morozova // JAIME, Vol. 20 P. 23-27.
95. Kosarevsky S. Detection of screw threads in computed tomography 3D density fields / S. Kosarevsky V. Latypov // Russian Engineering Research. – 2015. – №21. – С. 126–131.

96. Щуров И.А. Аналитическое решение задачи формообразования метрической резьбы фрезерованием на станке с ЧПУ / И.А. Щуров, Е.В. Немытова, Е.А. Суетина // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 15. С. 31-35.
97. Пат. 106160 РФ, МПК В 23 В 29/00. Резец с поворотной державкой. / Ямников А. С., Кузнецов Е. Ю., Маликов А. А., Сидоркин А. В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тульский государственный университет», опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19, 2 с.
98. Кузнецов Е. Ю. Использование САМ (АСТПП) систем для составления управляющих программ многопроходного нарезания витков червяков / Е. Ю. Кузнецов, А. С. Ямников // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 8. С. 86-95.
99. А.с. № 1563874 (СССР) Способ нарезания резьбы //Ямников А.С., Красильников В.М., Гамов С.Г., Макаrenchков В.М. /БИ № 18, 1990 г.
100. Табаков В.П. Исследование влияния износостойких покрытий на тепловое и напряженное состояние резбонарезного токарного инструмента / В.П. Табаков, Д.И. Сагитов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 4. С. 33-38.
101. Кузнецов В.П. Устойчивость технологической системы при нарезании резьбы многорезцовыми головками / В.П. Кузнецов, О.А. Ямникова // СТИН, 2004. № 2. С. 12.
102. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 420 с.
103. Тимошенко С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
104. Ананьев А. С. Анализ существующих схем резания образования резьбовых поверхностей / А. С. Ананьев, М. С. Артюхин, Н. Я. Смольников // Известия ТулГУ Технические науки 2012. Вып. 1 Ч.2 – С. 56-61.
105. Мезенцева Е. В. Исследование влияния режимов и видов механической обработки деталей на структуру и свойства конструкционных сталей / Е.В.

Мезенцева, А.С. Селиванов, Д.Л. Мерсон // Физическое материаловедение: 4 Международная школа, Тольятти, 14-18 сент., 2009: сб. трудов. - Тольятти: ТГУ, 2009. - С.108-110.

106. Солянкин Д.Ю. Фрезерование резьб с радиальной подачей / Д.Ю. Солянкин, А.С. Ямников // Известия ТулГУ Технические науки, 2010. Вып. 4 Ч.2. – С.89-93.

107. Ананьев А. С. Исследование процесса нарезания наружных резьб резцом за один проход на токарном станке с ЧПУ / А. С. Ананьев, Д. С. Скоморохов // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 5. С. 21-23.

108. Ямников А.С. Прогрессивная технология обработки винтовых поверхностей / А.С. Ямников. // Тула ТулГУ 2008. – 233 с.

109. Николаева Е.В. Повышение точности и производительности резьбошлифования на основе разработанного метода и средства для измерения параметров наружных резьб: дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2006. – 139 с.

110. Автоматизированный оптический контроль качества трубных резьб [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.utinlab.ru/item12.html>

111. Остапчук В.Г., Куликов В.А., Семенов С.Л. Автоматизированный контроль параметров резьбы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.micron.ru/information/articles /2>.

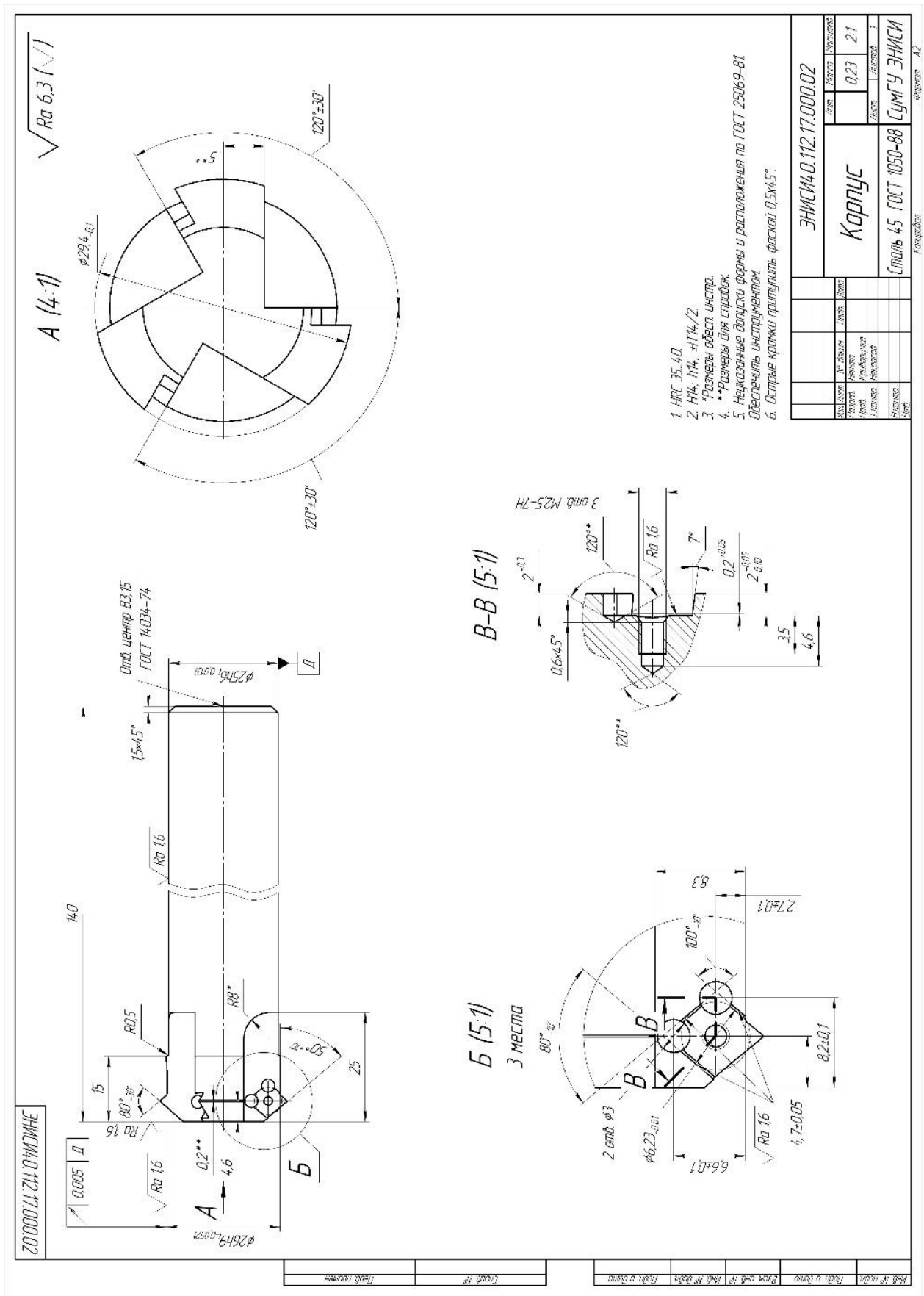
112. Лазерные системы «ОПТЭЛ» для автоматизированного неразрушающего контроля геометрии наружной и внутренней резьбы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nvp-optel.ru/produktsiya/75-lazernye-sistemy-qoptelq-dlya-avtomatizirovannogo-nerazrushayuschego-kontrolya-geometrii-narujnoi-i-vnutrennei-rezby>.

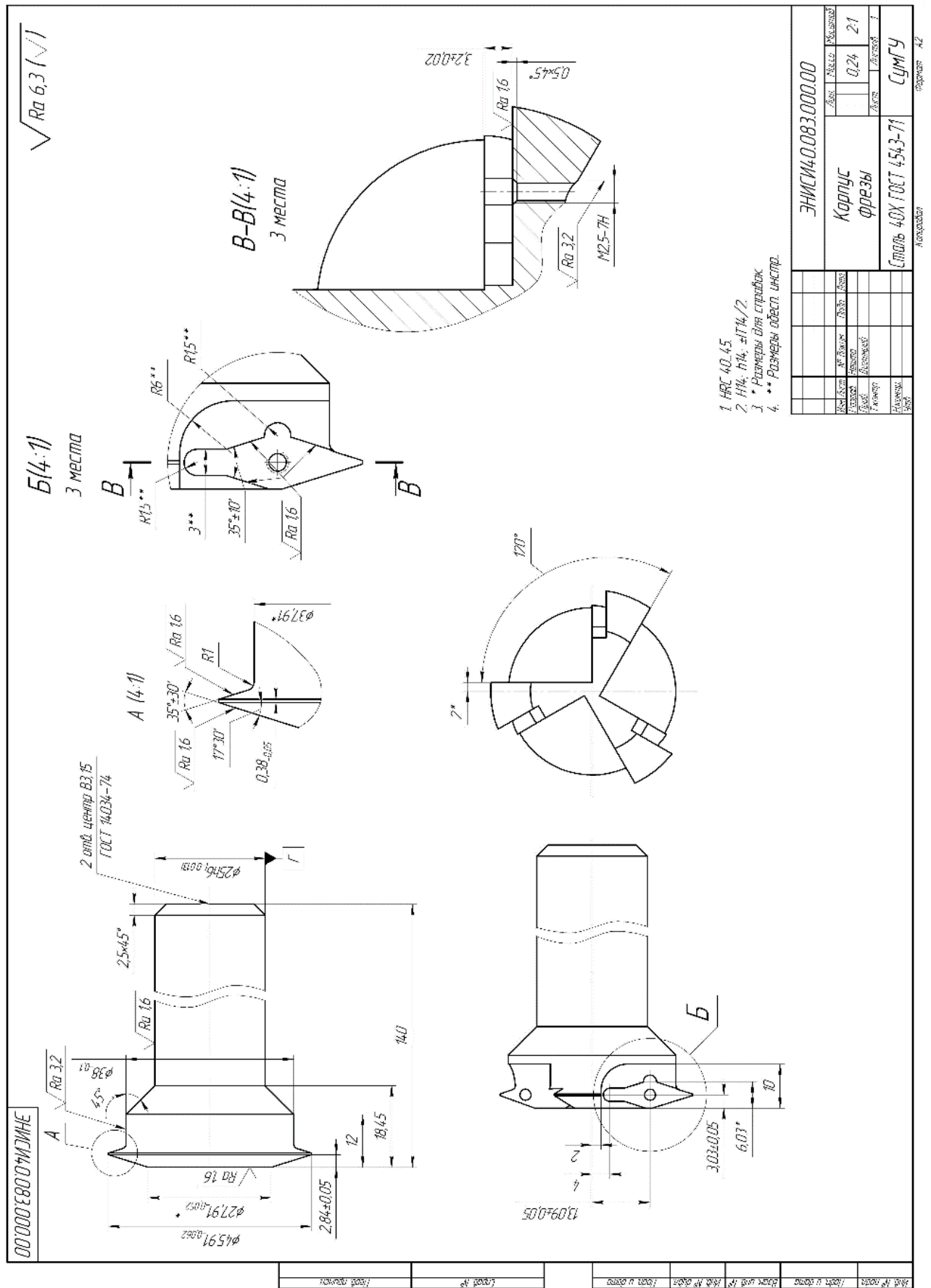
113. Автоматизированная установка бесконтактного контроля геометрии резьбы муфт и труб [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.uralniti.ru/menunapr/main-menu-ner-kontr/18-naprnerkontrkonrezb>.

114. Носкова Ю.Ю. Метод контроля конических резьб для элементов бурильных колонн на координатно-измерительной машине / Ю.Ю. Носкова,

- О.А. Халтурин, Т.Р. Абляз // Известия ТулГУ Технические науки, 2013. Вып. 2 – С. 19-24.
115. Чуприков А.О. Нарезание наружной резьбы по комбинированной схеме / А.О. Чуприков, А.С. Ямников // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 9. Ч. 2. – С. 89-95.
116. Ананченко В.Н. Особенности изготовления и контроля резьбы на трубах нефтяного сортамента / В.Н. Ананченко, И.К. Цыбрий, В.В. Моргунов // Известия ВолгГТУ Машиностроение, 2011. – С. 56-67.
117. Ананьев А.С. Влияние угла заборного конуса метчика на силу резания и несущую способность опорных кромок профиля резьбы / А.С. Ананьев, М.С. Землянский // Известия ВолгГТУ Машиностроение, 2010. – С. 13-16.
118. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 400 с.
119. Ингеманссон А. Р. Повышение качества обработки и математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием / А. Р. Ингеманссон // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Вестник УГАТУ). – Уфа, 2012. – Т. 16, № 4 (49). – С. 165-170.
120. Введение в математическое моделирование: учебное пособие / [В. Н. Ашихмин, М. Б. Гитман, И. Э. Келлер и др.]; под ред. П. В. Трусова. – М: Логос, 2005. – 440 с.
121. Трубна циліндрична різь ANSI/ASME B1.20.1, ANSI B 1.20.3 (Національний стандарт США). – 2013. – 7 с.
122. Різь UNC ANSI B1.1. (Національний стандарт США). – 2015.
123. Метрична різь ANSI/ASME B1.13M (Національний стандарт США). – 2015.

ДОДАТОК А





ДОДАТОК Б

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Нешта А.А. Анализ производительности обработки винтовых поверхностей / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2015. – № 2. – С. 46–49.
2. Нешта А.А. Область применения метода обработки внутренней резьбы мерным инструментом / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Вісник НТУ ХП. – 2015. – №4. – С. 145–149.
3. Нешта А.А. Особенности обработки различных типов внутренних резьб мерным инструментом / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Журнал инженерных наук. – 2016. № 2. – С. 20-24.
4. Нешта А.О. Забезпечення параметрів якості круглої внутрішньої різі при обробці високопродуктивним способом / А.О. Нешта // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. № 3 (81). – С. 10-20.
5. Патент на винахід UA №103734. Спосіб обробки круглої внутрішньої різьби / Некрасов С.С., Криворучко Д. В., Нешта А.О. МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. - № а201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. № 21.
6. Нешта А.А. Способы обработки круглой резьбы / А.А. Нешта, С.С. Некрасов, Д.В. Криворучко // Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка. – 2013. – № 4. – С. 86-88.
7. Нешта А.А. Фрезерование круглой внутренней резьбы с большим шагом / А.А. Нешта, С.С. Некрасов // Машиностроение – основа технологического развития России ТМ-2013: Сб. науч. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. - Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2013. – С. 358-359.
8. Нешта А.А. Анализ методов формообразования различных типов резьб с крупным шагом // Сучасні технології в промисловому виробництві: матер. III Всеукр. міжвузівської наук.-техн. конф.: у двох частинах, 22-25 квітня 2015 р., Суми. – Суми: Сумський державний університет, 2014. – Ч.1 – С. 27.
9. Нешта А.А. Технологическое обеспечение обработки внутренних резьб мерным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ / А.А. Нешта, Д.В. Криворучко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 24–27 квітня 2017 р., м. Чернігів. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 166.

ДОДАТОК В

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ НВП
«Насостехкомплект»



Гулий О. М.
2017 р.

АКТ

впровадження результатів наукової роботи на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

Нешти Анни Олександрівни

«26» листопада 2017 р.

м. Суми

Акт складено комісією у складі:

Голова комісії

Сиволап Є. І., головний інженер

Члени комісії:

Бондаренко О.О., начальник виробництва

Шепеленко О.О., заступник начальника

виробництва

Розглянувши результати експериментальних досліджень з використанням рекомендацій щодо обробки круглої внутрішньої різі R32 у деталях «Корпус бурової коронки», а також обробки внутрішніх метричних різей M48x3,5-7H та M48x3,5-LH-7H у деталях «Муфта з'єднувальна» комісія дійшла висновку, що результати дисертаційної роботи співробітника Сумського державного університету Нешти А.О., на тему: «Розробка теорії оброблення різбових поверхонь на фрезерних верстатах з ЧПК» використані у виробничому процесі у період з 6 вересня по 25 жовтня 2017 р.

Автором запропоновані режими різання та різальні інструменти для вертикально-фрезерних верстатів моделей 6P13Ф3 та FADAL 2216FX, що в сукупності дозволило забезпечити точність і якість оброблених різбових поверхонь із одночасним зниженням технологічної собівартості обробки від 30 до 78%, за рахунок скорочення основного часу та витрат на інструмент, що необхідний для забезпечення обробки деталей. При цьому собівартість «Корпусу бурової коронки» зменшилась на 21,13 грн., а «Муфти з'єднувальної» на 8,28 грн. відповідно.

Комісія рекомендує впровадження розробленої технології, різального інструменту та режимів різання у виробництво на механічній дільниці заводу ТОВ НВП «Насостехкомплект».

Голова комісії

Сиволап Є.І., технічний директор

Члени комісії:

Бондаренко О.О., начальник виробництва

Шепеленко О.О., заступник начальника

виробництва

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

В.Д. Карпуша
«20» *грудня* 2018 р.

АКТ
впровадження результатів дисертаційної роботи
«Технологія оброблення внутрішніх різей
методом безцентроїдного огинання»
наукового ступеня кандидата технічних наук
Нешти Анни Олександрівни

Акт складено комісією у складі:

Голова комісії

завідувач кафедри «Технологія машинобудування,
верстати та інструменти», д.т.н., проф. Залога В.О.

Члени комісії:

доцент кафедри «Технологія машинобудування,
верстати та інструменти» к.т.н., доц. Іванов В.О.
доцент кафедри «Технологія машинобудування,
верстати та інструменти» к.т.н., доц. Євтухов А.В.

Даний акт засвідчує, що результати дисертаційної роботи Нешти Анни Олександрівни «Технологія оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання» у рамках НДР МОН України «Підвищення вібростійкості процесів фрезерування та точіння складнопрофільних деталей із важкооброблюваних матеріалів на основі управління та оптимізації геометрії різальної частини інструментів» (ДР № 0113U0001366) та «Комплексна розробка методів підвищення ефективності обробки важкооброблюваних матеріалів за рахунок удосконалення ріжучих інструментів та умов їх застосування» (ДР № 0115U000663), у яких здобувач була виконавцем окремих етапів були впроваджені у навчальний процес підготовки студентів Сумського державного університету за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр» у весняному семестрі 2018 року, а саме:

- при підготовці комплексу лабораторних робіт із курсу «Різальний інструмент» впроваджено розділ інженерного аналізу різальних інструментів з механічним кріпленням методом скінчених елементів;
- при підготовці практичних робіт із курсу «Експериментальні методи дослідження технологічних процесів» використовується запропонований у дисертаційній роботі підхід до визначення оптимальних значень режимів різання;
- при підготовці комплексу практичної роботи з курсу «Прогресивні технології виготовлення деталей насосного та компресорного обладнання» за темою «Визначення точності оброблення внутрішніх різей непрофільним інструментом».

Голова комісії

зав. кафедри ТМВІ д.т.н., проф. Залога В.О.

Члени комісії:

доцент кафедри ТМВІ к.т.н., доц. Іванов В.О.

доцент кафедри ТМВІ к.т.н., доц. Євтухов А.В.